

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Кляченко О.Л., Мельничук М.Д., Іванова Т.В.

# ЕКОЛОГІЧНІ БІОТЕХНОЛОГІЇ ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА

Навчальний посібник

Вінниця-2015

УДК 504.064.4  
ББК 30.16  
М 48

*Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Національного  
університету біоресурсів і природокористування України  
(протокол № 10 від 27 травня 2015 року)*

**Рецензенти:**

*Кондратенко П.В.*, доктор сільськогосподарських наук, професор,  
академік НААН України  
*Надточій П.П.*, доктор сільськогосподарських наук, професор  
*Чайка В. М.*, доктор сільськогосподарських наук, професор

**О.Л. Кляченко, М.Д. Мельничук, Т.В. Іванова**

М 48 Екологічні біотехнології: теорія і практика.: Навчальний посібник. –  
Вінниця, ТОВ «Нілан-ЛТД»., 2015. –254 с.

ISBN 978-966-924-047-7

У навчальному посібнику викладені теоретичні положення та найбільш поширені класичні сучасні модифіковані й уніфіковані методи, що використовуються для характеристики моніторингу стану забруднення природних об'єктів та біологічне очищення стічних вод за допомогою штучних споруд. Особлива увага приділена екобіотехнологічним процесам у промисловості, біоіндикації навколишнього середовища, біоконверсії відходів, описані методи отримання біогазу, приготування субстратів для вермикомпостування, очищення забруднених середовищ довкілля. Розглядаються питання біологічного очищення газоповітряних викидів, довкілля після радіоактивного забруднення, ґрунтів, забруднених нафтою і нафтопродуктами. Окремі розділи присвячено новим підходам в екобіотехнологічній галузі, зокрема використання сонячної енергії, рослин і водоростей для очищення забруднених водойм і ґрунтів, відновлення озерних екосистем та сучасні принципи і технології морського моніторингу шельфових морів.

Для студентів вищих навчальних закладів екологічних спеціальностей, наукових працівників, викладачів, аспірантів, які спеціалізуються в галузі екології, екобіотехнології та клітинної біології.

**УДК 504.064.4  
ББК 30.16**

**ISBN 978-966-924-047-7**

© Національний університет біоресурсів  
і природокористування України, 2015

## ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	5
<b>РОЗДІЛ 1. АНТРОПОГЕННІ ФАКТОРИ ЗАБРУДНЕННЯ</b>	7
ТЕМА 1. МОНІТОРИНГ СТАНУ ПРИРОДНИХ ОБ'ЄКТІВ	7
Робота 1. Визначення вмісту заліза у воді методом фотометрії	16
Робота 2. Кондуктометричне визначення показника солоності води	17
Робота 3. Біотестування фітотоксичності речовин, що містяться у воді або ґрунті	19
ТЕМА 2. БІОЛОГІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД	20
Робота 4. Біологічне видалення азоту з осаду стічних вод	25
Робота 5. Розрахунок полів фільтрації, полів зрошення	27
Робота 6. Розрахунок об'єму аеротенків	34
Робота 7. Манометричний метод визначення впливу шкідливих речовин, що містяться у стічних водах та їх біологічна очистка	41
Робота 8. Метантенки – спори для біологічного знешкодження осадів стічних вод	43
Робота 9. Розрахунок мулоущільнювачів	47
<b>РОЗДІЛ 2. ЕКОБІОТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ У ПРОМИСЛОВОСТІ</b>	55
ТЕМА 3. БІОГЕОТЕХНОЛОГІЯ МЕТАЛІВ	55
Робота 10. Кінетика ферментативного каталізу	60
Робота 11. Молочнокисле бродіння та його використання в екобіотехнологіях	61
Робота 12. Спиртове бродіння та його використання в екобіотехнологіях	64
Робота 13. Планування експерименту й побудова моделі на прикладі вирощування мікроорганізмів	65
Робота 14. Визначення чутливості бактерій до антибіотиків	70
Робота 15. Роль води в процесах життєдіяльності мікроорганізмів	71
ТЕМА 4. БІОТЕСТУВАННЯ І БІОІНДИКАЦІЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	72
Робота 16. Оцінка якості бджолиного меду	90
Робота 17. Визначення рівня забруднення харчових продуктів і органічних субстратів нітратами	92
Робота 18. Визначення вмісту нітратів в овочевих культурах за допомогою іон селективних електродів	93
Робота 19. Визначення забруднення пестицидами кормів методом тонкошарової хроматографії	95
<b>РОЗДІЛ 3. БІОКОНВЕРСІЯ ВІДХОДІВ</b>	97
ТЕМА 5. ОТРИМАННЯ БІОГАЗУ. ВЕРМИКОМПОСТУВАННЯ	97
Робота 20. Приготування субстратів для вермикомпостування	105
Робота 21. Ефективність перетворення біопалива в теплову або електричну енергію	110

Робота 22. Метод визначення обростання спробних організмів на штучних субстратах	111
<b>РОЗДІЛ 4. ОЧИЩЕННЯ ЗАБРУДНЕНИХ СЕРЕДОВИЩ ДОВКІЛЛЯ</b>	113
ТЕМА 6. БІОЛОГІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ ГАЗОПОВІТРЯНИХ ВИКИДІВ	113
Робота 23. Визначення ступеня забруднення навколишнього середовища (повітря)	124
Робота 24. Аналіз мікрофлори повітря	126
ТЕМА 7. ОЧИЩЕННЯ ДОВКІЛЛЯ ПІСЛЯ РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ. ФІТОРЕМЕДІАЦІЯ. БІОРЕМЕДІАЦІЯ ГРУНТІВ	130
Робота 25. Визначення фітотоксичності важких металів на прикладі насіння зернових культур	159
Робота 26. Вимір абіотичних параметрів навколишнього середовища	161
Робота 27. Визначення актуальної кислотності ґрунтів	164
Робота 28. Виділення мікроорганізмів з ґрунту. Вплив антропогенних факторів на мікрофлору ґрунту	166
ТЕМА 8. ОЧИЩЕННЯ ЗАБРУДНЕНИХ СЕРЕДОВИЩ ВІД НАФТИ І НАФТОПРОДУКТІВ	171
Робота 29. Вивчення методів очищення поверхні водоймищ від нафти і нафтопродуктів	184
<b>РОЗДІЛ 5. НОВІ ПІДХОДИ В ЕКОБІОТЕХНОЛОГІЧНІЙ ГАЛУЗІ</b>	187
ТЕМА 9. ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	187
Робота 30. Дослідження прямого перетворення сонячної енергії в електричну	188
ТЕМА 10. ВИКОРИСТАННЯ РОСЛИН І ВОДОРОСТЕЙ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ЗАБРУДНЕНИХ ВОД І ГРУНТІВ	192
ТЕМА 11. ВІДНОВЛЕННЯ ОЗЕРНИХ ЕКОСИСТЕМ	194
ТЕМА 12. СУЧАСНІ ПРИНЦИПИ І ТЕХНОЛОГІЇ МОРСЬКОГО МОНІТОРИНГУ ШЕЛЬФОВИХ МОРІВ	207
ТЕМА 13. МАЛОВІДХОДНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТЕ ВИРОБНИЦТВО	210
<b>РОЗДІЛ 6. ЗАКОНОДАВЧІ ТА ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНІ МЕХАНІЗМИ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРИРОДООХОРОННИХ ТЕХНОЛОГІЙ</b>	214
ПЕРЕЛІК НАЙУЖИВАНІШИХ СТАНДАРТІВ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ПРИ ВИВЧЕННІ ЕКОЛОГІЧНОЇ БІОТЕХНОЛОГІЇ	228
СЛОВНИК ТЕРМІНІВ	239
ГОЛОВНІ ПОДІЇ В ІСТОРІЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ БІОТЕХНОЛОГІЇ	247
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	251

## ПЕРЕДМОВА

Суспільство з моменту свого зародження в ході розвитку господарської діяльності порушувало рівновагу в природі, знищуючи великих тварин, випалюючи ліси для полювання та землеробства, а також забруднюючи ґрунт і водойми в місцях поселення. Тому перед людством завжди стояла проблема довкілля. В результаті промислової, сільськогосподарської та побутової діяльності людини виникли різні зміни стану і властивостей навколишнього середовища. З розвитком та інтенсифікацією промислової та сільськогосподарської діяльності в ХХ столітті стали відчуватися межі природної продуктивності біосфери – виснажуються природні ресурси, джерела енергії, все більш помітний дефіцит їжі, чистої води і повітря. Забруднення навколишнього середовища в багатьох регіонах досягло критичної межі. Всі ці проблеми виникли завдяки науково-технічному прогресу суспільства і повинні вирішуватися з використанням його новітніх досягнень. Шкідливі антропогенні забруднення, що виробляються в індустріально розвинених регіонах і країнах, в результаті природної циркуляції водних і повітряних мас поширюються по всій території Землі, аж до обох полюсів, проникають в глибини океанів, досягають стратосфери.

Найважливіша роль у питаннях захисту та охорони навколишнього середовища належить біології. Екологія в традиційному розумінні є біологічною дисципліною і вивчає взаємини організмів, включаючи людину, між собою та з навколишнім середовищем. Подальший розвиток біології та впровадження її досягнень у практику – один з головних шляхів виходу з екологічної кризи. Велику роль при цьому відіграє біотехнологія, яка дозволяє вирішувати ряд екологічних проблем, включаючи захист навколишнього середовища від промислових, сільськогосподарських і побутових відходів, деградацію токсикантів, що потрапили в середовище, а також створює маловідходні промислові процеси отримання харчових і лікарських речовин, кормів, мінеральної сировини, енергії. Екологія та біотехнологія взаємодіють як через продукти, так і через технології. В цілому це сприяє екологізації антропогенної діяльності і виникнення більш гармонійних відносин між суспільством і природою. Висвітлюючи питання біотехнології, необхідно, насамперед, визначити значення слова біотехнологія стосовно цього контексту. Низкою авторів було запропоновано загальне визначення біотехнології для країн – членів ЄС: «Застосування науково-технічних принципів при обробці речовин біологічними агентами з метою виробництва товарів і послуг».

У 1981 р. Європейське товариство прикладної бактеріології запропонувало два визначення біотехнології: «Застосування біологічних організмів, систем або процесів в промисловості та у сфері послуг» та «Інтегроване використання біохімії, мікробіології і технічних наук з метою технологічного (промислового) застосування можливостей мікроорганізмів, клітин тканинних культур та їх компонентів».

Зростаюча роль біології в цілому та біотехнології зокрема у вирішенні природоохоронних завдань призвела до того, що в останні роки сформувався і активно розвивається новий розділ функціональної науки і нова промислова галузь – екологічна біотехнологія. Екологічна біотехнологія – конкретне застосування біотехнології для вирішення екологічних проблем, включаючи переробку відходів і боротьбу із забрудненням навколишнього середовища, а також використання біотехнології у поєднанні з небіологічними технологіями.

До навчального посібника входять лабораторні роботи, які охоплюють основні розділи курсу екологічної біотехнології. У кожній лабораторній роботі наведені мета і завдання дослідження, яким передують теоретичний матеріал, що значно розширює й поглиблює знання студента з цієї проблеми. В експериментальній частині наведено принцип методу, за яким виконується дослідження, хід роботи і формули для кількісних розрахунків. Виконання лабораторних робіт студентами буде сприяти кращому та більш глибокому засвоєнню теоретичного курсу. Наприкінці кожного розділу пропонуються контрольні запитання з даної теми. У навчальному посібнику запропоновані способи і довідковий матеріал з приготування окремих реактивів та буферних систем, міститься багато кольорових та чорно-білих ілюстрацій, значна більшість з яких виконана авторами.

Важливим є те, що в навчальному посібнику «Екологічні біотехнології: теорія і практика» вперше наведені актуальні на даний час і на перспективу питання державного і світового значення про стандарти і стандартизацію в народному господарстві і, передусім, у біотехнологічних дослідженнях, що висвітлено у розділі «Перелік найуживаніших стандартів при вивченні «Екологічної біотехнології».

## **РОЗДІЛ 1. АНТРОПОГЕННІ ФАКТОРИ ЗАБРУДНЕННЯ**

### **ТЕМА 1. МОНІТОРИНГ СТАНУ ПРИРОДНИХ ОБ'ЄКТІВ**

Вплив людини як екологічного фактора надзвичайно сильний та різнобічний. Жодна екосистема на планеті не unikнула цього впливу, а багато екосистем були повністю знищені. Антропогенний означає "народжений людиною", і антропогенними називають ті фактори, які своїм походженням зобов'язані будь-якій діяльності людини. Цим вони принципово відрізняються від факторів природних, які виникли ще до появи людини, але існують і діють дотепер.

Антропогенні фактори (АФ) виникли лише з появою людини у період стародавнього етапу її взаємодії з природою, проте тоді вони були ще дуже обмеженими за своїми масштабами. Першим істотним АФ став вплив на природу за допомогою вогню; значно поширився набір АФ з розвитком тваринництва, рослинництва, появою великих поселень. Особливе значення для організмів біосфери мали такі АФ, аналогів яких не було у природі раніше, оскільки в ході еволюції ці організми не змогли виробити певних пристосувань до них.

Нині вплив людини на біосферу досяг велетенських масштабів: відбувається тотальне забруднення природного середовища, географічна оболонка насичується технічними спорудами (містами, заводами, трубопроводами, шахтами, водосховищами тощо); технічними предметами (тобто залишками космічних апаратів, контейнерами з токсичними речовинами, звалищами); новими речовинами, які не асимілюються біотою; новими процесами – хімічними, фізичними, біологічними та змішаними (термоядерний синтез, біоінженерія тощо).

Антропогенні фактори – тіла, речовини, процеси та явища, які виникають внаслідок господарської та іншої діяльності людини і діють на природу разом з факторами природними. Всю різноманітність антропогенних факторів поділяють на такі основні підгрупи:

Фактори-тіла – це, наприклад, штучний рельєф (кургани, терикони), водойми (водосховища, канали, ставки), споруди і будівлі тощо. Фактори цієї підгрупи характеризуються чіткою просторовою визначеністю та тривалою дією. Вироблені колись, вони часто існують віками і навіть тисячоліттями. Багато з них поширені на значні площі.

Фактори-речовини – це звичайні та радіоактивні хімічні речовини, штучні хімічні сполуки та елементи, аерозолі, стічні води тощо. Вони, на відміну від першої підгрупи, не мають конкретної просторової визначеності, постійно змінюють концентрацію та переміщуються, змінюючи відповідно ступінь впливу на елементи природи. Частина з них з часом руйнується, інші можуть бути присутні у середовищі десятки, сотні й навіть тисячі років (наприклад, деякі радіоактивні речовини), що зумовлює можливість їх акумуляції у природі.

Фактори-процеси – це підгрупа АФ, до якої належать вплив на природу домашніх тварин та рослин, знищення шкідливих та розведення корисних організмів, випадкове або цілеспрямоване переміщення організмів у просторі, видобування корисних копалин, ерозія ґрунтів тощо. Ці фактори часто займають обмежені ділянки природи, але іноді можуть охоплювати й великі простори. Крім прямого впливу на природу, часто викликають і низку опосередкованих змін. Усі процеси мають високу динаміку і часто односпрямовані.

Фактори-явища – це, наприклад, тепло, світло, радіохвилі, електричне й електромагнітне поля, вібрація, тиск, звукові ефекти та ін. На відміну від інших підгруп АФ, явища здебільшого мають точні параметри. Як правило, по мірі віддалення від джерела їх вплив на природу зменшується.

На основі викладеного антропогенними факторами можна називати лише ті вироблені людиною тіла, речовини, процеси та явища, які не існували у природі до появи людини. У тому випадку, якщо певні АФ не існували до появи людини лише у якомусь (певному) регіоні, їх називають регіональними антропогенними факторами; якщо їх не було лише якогось сезону, то їх називають сезонними антропогенними факторами.

У тих випадках, коли вироблені людиною тіла, речовина, процес або явище за своїми якостями і властивостями аналогічні до природного фактора, то його можна вважати антропогенним фактором лише тоді, коли він кількісно переважає над природним. Наприклад, тепло, що є природним фактором, стає антропогенним, якщо його кількість, яку виділяє підприємство у навколишнє середовище, викликає підвищення температури цього середовища. Такі фактори називають кількісно-антропогенними.

Інколи під впливом людини здійснюється перехід тіл, процесів, речовин або явищ у нову якість. У цьому випадку йдеться про якісно-антропогенні фактори, наприклад, піски, що стають рухомими внаслідок знищення людиною рослинності, яка їх закріплювала, або вода, яка утворюється з льодовика при його таненні під впливом антропогенного потепління.

Комплекс антропогенних факторів, що впливають на стан біосфери, дуже різноманітний. Дія кожного з них або їх групи може стати причиною різних негативних наслідків. Ті чи інші "події" у біосфері, викликані антропогенними факторами, розвиваються за принципом ланцюгової реакції. Вплив людини на природу може бути свідомим (спеціальним) та випадковим (необдуманим). Так, людина свідомо створює нові біогеоценози, виводить високопродуктивні та стійкі до захворювань форми організмів, розселює одні види та знищує інші тощо. Такі дії, як правило, позитивні, але нерідко вони стають негативними, коли набувають рис необдуманих. До випадкових дій відносять ті, які не були заздалегідь передбачені та заплановані, наприклад, випадкове завезення різних шкідників чи паразитів разом із вантажем, харчовими продуктами тощо, або небажані явища, викликані цілком свідомими діями, – осушенням боліт, цілини, надмірним випасом худоби, зрошенням, вирубуванням лісів та ін.



Розглянемо такий звичайний антропогенний вплив, як випас худоби. По-перше, це одразу призводить до пригнічення в біоценозі низки видів, яких поїдають свійські тварини. По-друге, внаслідок цього на території утворюється угруповання з відносно невеликою кількістю видів, котрих худоба не вживає, тому кожен з них має значну чисельність. По-третє, біогеоценоз, що виник таким чином, стає малостійким, легко піддається коливанням чисельності популяцій, і тому, якщо дія фактора (випасу худоби) посилюватиметься, це може призвести до глибоких змін і навіть повної деградації біогеоценозу.

При виявленні та вивченні АФ основна увага приділяється не тим засобам, якими вони вироблені, а тим їх елементам, які викликають зміни у природі. З позицій вчення про фактори антропогенний вплив на природу можна визначити як свідомий та несвідомий вплив через вироблені людиною АФ. Цей вплив здійснюється не лише у процесі людської діяльності, а й після її завершення. Вплив людини, який класифікується за видами діяльності, є комплексним фактором. Наприклад, якщо проаналізувати орання поля трактором як дію комплексного антропогенного фактора, можна навести такі його складники: 1) ущільнення ґрунту; 2) роздавлювання ґрунтових організмів; 3) розпушення ґрунту; 4) перевертання ґрунту; 5) розрізання організмів плугом; 6) вібрація ґрунту; 7) забруднення ґрунту залишками пального; 8) забруднення атмосфери вихлопами; 9) шумові ефекти тощо.

Є багато класифікацій АФ за різними ознаками. За природою АФ поділяють на:

- механічні – тиск колесами автомобілів, вирубка лісів, перешкоди на шляху руху організмів тощо;
- фізичні – тепло, світло, електричне поле, колір, зміни вологості тощо;
- хімічні – дія різних хімічних елементів та їх сполук;
- біологічні – вплив інтродукованих організмів, розведення рослин і тварин, лісопосадки тощо;
- ландшафтні – штучні ріки та озера, пляжі, ліси, луки та ін.

Слід зазначити, що будь-який вид діяльності людини не може бути визначений просто як сума АФ, тому що ця діяльність передбачає елементи, які жодним чином не можна вважати факторами у природничому сенсі, наприклад, технічні засоби, продукція, самі люди, їх виробничі відносини, технологічні процеси тощо. Лише у окремих випадках технічні засоби (наприклад, греблі, лінії зв'язку, будівлі) можуть бути названі факторами, якщо вони своєю присутністю безпосередньо викликають зміни у природі, наприклад, є перешкодою для руху тварин, бар'єром для повітряних потоків тощо.

За часом походження і тривалістю дії антропогенні фактори поділяють на такі групи:

- фактори, вироблені в минулому: а) ті, що припинили свою дію, але її наслідки відчуваються і нині (знищення певних видів організмів, надмірний випас худоби тощо); б) ті, що продовжують діяти і у наш час (штучний рельєф, водосховища, інтродуковані види тощо);

- фактори, які виробляються у наш час: а) ті, що діють лише у момент виробництва (радіохвилі, шум, світло); б) ті, що діють певний час і після закінчення виробництва (стійкі хімічні забруднення, вирубаний ліс та ін.).

Більшість АФ поширені у зонах інтенсивного розвитку промисловості і сільського господарства. Проте деякі, вироблені на обмежених територіях, можуть зустрічатися у будь-якому регіоні земної кулі внаслідок їх здатності до міграції (наприклад, радіоактивні речовини з тривалим періодом розпаду, стійкі отрутохімікати). Навіть ті АФ, які дуже широко розповсюджені на планеті або в окремому регіоні, у природі поширюються нерівномірно, створюючи при цьому зони високої та низької концентрації, а також зони повної їх відсутності. Так орання ґрунту та випас худоби здійснюються лише на певних ділянках, які необхідно точно знати.

Отже, основним кількісним показником АФ є ступінь насичення ними простору, що називають концентрацією антропогенних факторів. Концентрація АФ на конкретній території зумовлена, як правило, інтенсивністю і характером виробництва АФ; ступенем здатності цих факторів до міграції; властивістю до акумуляції (накопичення) у природі та загальними умовами конкретного природного комплексу. Тому кількісні особливості АФ суттєво змінюються у часі і просторі.

За ступенем здатності до міграції АФ поділяють на ті, які:

- не мігрують – діють лише у місці виробництва та на деякій відстані від нього (рельєф, вібрація, тиск, звук, світло, завезені людиною нерухомі організми тощо);

- мігрують із потоками води й повітря (пил, тепло, хімічні речовини, гази, аерозолі та ін.);

- мігрують із засобами виробництва (кораблі, поїзди, літаки тощо);

- мігрують самостійно (завезені людиною рухомі організми, здичавілі домашні тварини).

Далеко не всі АФ виробляються людиною безперервно; вони мають уже різну періодичність. Так, сінокосіння відбувається у певний період, але щорічно; забруднення атмосфери промисловими підприємствами здійснюється або у певні години, або цілодобово. Вивчення динаміки виробництва факторів є дуже важливим для правильної оцінки їх впливу на природу. При збільшенні кількості періодів та їх тривалості вплив на природу посилюється внаслідок зменшення можливостей для самовідновлення кількісних та якісних особливостей елементів природи.

Динаміка кількості та набору різних факторів чітко виражена протягом року, що зумовлено сезонністю багатьох виробничих процесів. Виявлення динаміки АФ проводиться для певної території за обраний час (наприклад, за рік, сезон, добу). Це має дуже велике значення для порівняння їх із динамікою природних факторів, що дає змогу визначити ступінь впливу на природу АФ. Вітрова ерозія ґрунтів найбільш небезпечна влітку, а водна ерозія - навесні при таненні снігу, коли ще немає рослинності; стічні води одного й того ж об'єму і

складу взимку більше змінюють хімізм річки, ніж навесні, внаслідок малого об'єму зимового стоку.

За таким важливим показником, як здатність накопичуватися у природі, АФ поділяються на:

- ті, що існують лише у момент виробництва, тому за своєю природою не здатні до накопичення (світло, вібрація тощо);

- ті, які здатні зберігатися у природі тривалий час після їх виробництва, що призводить до їх накопичування (акумуляції) і посилення впливу на природу.

До другої групи АФ можна зарахувати штучний рельєф, водосховища, хімічні та радіоактивні речовини тощо. Ці фактори є дуже небезпечними, оскільки з часом зростають їх концентрації і ареали, відповідно й інтенсивність впливу на елементи природи. Деякі радіоактивні речовини, здобуті людиною з надр Землі та уведені в активний кругообіг речовин, можуть виявляти радіоактивність протягом сотень і тисяч років, здійснюючи при цьому негативний вплив на природу. Здатність до акумуляції різко посилює роль АФ у розвитку природи, а в окремих випадках навіть є вирішальною у визначенні можливості існування окремих видів та організмів.

У процесі міграції деякі фактори можуть переходити з одного природного середовища в інше та діяти в усіх середовищах, які є у певному регіоні. Так, радіоактивні речовини у випадку аварії на атомній електростанції розповсюджуються в атмосфері, а також забруднюють ґрунти, проникають у ґрунтові води та осідають у водоймах. А тверді викиди промислових підприємств з атмосфери потрапляють на ґрунт та у водойми. Ця особливість властива багатьом АФ з підгрупи факторів-речовин. Деякі стійкі хімічні фактори у процесі кругообігу речовин виносяться з водойм за допомогою організмів на сушу, а потім з неї знов змиваються у водойми – так відбувається довготривала циркуляція та дія фактора у ряді природних середовищ.

Дія антропогенного фактора на живі організми залежить не тільки від його якості, а й від кількості у розрахунку на одиницю простору, що називають дозою фактора. Доза фактора – це кількісна характеристика фактора у певному просторі. Доза фактора випасу буде кількість тварин певного виду на га пасовища за добу або сезон випасу. Із дозою фактора тісно пов'язано визначення його оптимуму. АФ залежно від їхньої дози можуть по-різному впливати на організми або бути до них індиферентними. Деякі дози фактора викликають максимум позитивних змін у природі і практично не спричиняють негативних (прямих та опосередкованих) змін. Їх називають оптимальними, або оптимумом.

Одні АФ безперервно діють на природу, інші – періодично або спорадично. Тому за періодичністю вони поділяються на:

- безперервно діючі – забруднення атмосфери, води та ґрунту викидами промислових підприємств та вилучення з надр корисних копалин;

- періодичні фактори – орання ґрунту, вирощування та збір сільськогосподарських культур, випас домашніх тварин тощо. Ці фактори

прямо діють на природу лише у певні години, тому вони пов'язані із сезонною і добовою періодичністю дії АФ;

- спорадичні фактори – аварії транспортних засобів, що призводять до забруднення природного середовища, вибухи ядерних і термоядерних пристроїв, лісові пожежі та ін. Вони діють у будь-який час, хоча у деяких випадках можуть бути прив'язані до певного сезону.

Дуже важливо розрізняти антропогенні фактори за тими змінами, до яких призводить або може призводити їхня дія на природу і живі організми. Тому їх поділяють також за стійкістю зумовлювальних змін у природі:

- АФ, що викликають тимчасові зворотні зміни, – будь-яка тимчасова дія на природу, що не приводить до повного знищення видів; забруднення води або повітря нестійкими хімічними речовинами тощо;

- АФ, що викликають відносно незворотні зміни, – окремі випадки інтродукції нових видів, створення невеликих водосховищ, знищення деяких водойм та ін.;

- АФ, що викликають абсолютно незворотні зміни у природі, – суцільне знищення якихось видів рослин і тварин, повне вилучення з родовищ корисних копалин тощо.

Дія деяких АФ може викликати так званий антропогенний стрес екосистем, який буває двох різновидів: *гострий стрес*, для котрого характерні раптовий початок, швидкий підйом інтенсивності і невелика тривалість порушень компонентів екосистем; *хронічний стрес*, який характеризується порушеннями незначної інтенсивності, але вони тривають достатньо довго або часто повторюються.

Природні екосистеми мають здатність протистояти гострому стресу або відновлюватися після нього. Потенційні стресори містять, наприклад, промислові відходи. Особливо небезпечними серед них є ті, до складу котрих входять вироблені людиною нові хімічні речовини, до яких компоненти екосистеми ще не мають пристосувань. Хронічна ж дія цих факторів може призвести до істотних змін у структурі та функціях спільнот організмів у процесі акліматизації та генетичної адаптації до них.

У процесі соціального обміну речовин (тобто обміну речовин у процесі природокористування) у навколишньому середовищі з'являються речовини та енергія, створені за допомогою технологічних процесів (антропогенних факторів). Деякі з них вже давно мають назву "забруднення". Отже, забрудненнями слід вважати ті АФ, які негативно впливають на цінні для людини організми та ресурси неживої природи. Іншими словами, забруднення - це все те, що з'являється в навколишньому середовищі не у тім місці, не у той час і не у тих кількостях, які звичайно притаманні природі, і що виводить її зі стану рівноваги. Взагалі існує величезна кількість форм забруднення.

Усю різноманітність форм забруднення людиною природного середовища можна звести до таких основних його видів (табл. 1.1):

Механічне забруднення – запилення атмосфери, наявність твердих часток у воді та ґрунті, а також у космічному просторі.

Фізичне забруднення – радіохвилі, вібрація, тепло- і радіоактивність.

Хімічне – забруднення газоподібними та рідкими хімічними сполуками й елементами, а також їх твердими фракціями.

Біологічне забруднення охоплює збудників інфекційних захворювань, шкідників, небезпечних конкурентів, деяких хижаків.

Радіаційне – перевищення природного рівня вмісту у природному середовищі радіоактивних речовин.

Інформаційне забруднення – зміни властивостей середовища, що погіршує його функції як носія інформації.

Таблиця 1.1

### Характеристика основних видів забруднення навколишнього середовища

Вид забруднення	Характеристика
Механічне	Засмічення середовища агентами, що мають лише механічний вплив без фізико-хімічних наслідків (наприклад, сміттям)
Хімічне	Зміна хімічних властивостей середовища, що негативно впливає на екосистеми і технологічні пристрої
Фізичне	Зміна фізичних параметрів середовища: температурно-енергетичних (теплове чи термальне), хвильових (світлове, шумове, електромагнітне), радіаційних (радіаційне чи радіоактивне) тощо
Теплове (термальне)	Підвищення температури середовища, головним чином внаслідок промислових викидів нагрітого повітря, газів і води; може виникнути і як вторинний результат зміни хімічного складу середовища
Світлове	Порушення природної освітленості місцевості внаслідок дії штучних джерел світла; може призводити до аномалій у житті рослин і тварин
Шумове	Збільшення інтенсивності шуму понад природний рівень; у людини викликає підвищену стомлюваність, зниження розумової активності, а при досягненні 90-130 дБ поступову втрату слуху
Електромагнітне	Зміна електромагнітних властивостей середовища (спричиняють лінії електропередач, радіо і телебачення, робота деяких промислових і побутових установок та ін.); призводить до глобальних і місцевих географічних аномалій і змін у тонких біологічних структурах
Радіаційне	Перевищення природного рівня вмісту у середовищі радіоактивних речовин
Біологічне	Проникнення в екосистеми і технологічні пристрої різних видів тварин і рослин, які порушують екологічну рівновагу чи спричиняють соціально-економічні збитки
Біотичне	Поширення певних, як правило, небажаних для людей, біогенних речовин (виділень, мертвих тіл та ін.) або тих, які порушують екологічну рівновагу
Мікробіологічне	Поява надзвичайно великої кількості мікроорганізмів внаслідок їх масового розмноження на антропогенних субстратах або у середовищах, змінених людиною в ході господарської діяльності. Набуття раніше нешкідливою формою мікроорганізмів патогенних властивостей чи здатності пригнічувати інші організми у співтовариствах
Інформаційне	Зміна властивостей середовища, що погіршує функції носія інформації

Одним із показників, що характеризують той чи інший ступінь забруднення середовища, є питома здатність до забруднення, тобто чисельне відношення тонни продукції, яка проходить через одну із систем соціального обміну речовин, до ваги речовин, що викидаються у природу та приходиться на цю тонну. Наприклад, для сільськогосподарського виробництва до речовин, що викидаються у природу на тонну продукції, належать незасвоєні та змиті з полів добрива і отрутохімікати, органічні речовини з тваринницьких комплексів тощо. Для промислових підприємств це всі тверді, газоподібні та рідкі речовини, що викидаються у природу. Для різних видів транспорту розрахунки ведуться на тонну перевезеної продукції, причому до забруднень слід зараховувати не лише викиди транспортних засобів, а й ті вантажі, які були розсіяні у процесі перевезення.

Поняття «питома здатність до забруднення» слід відрізнити від поняття «питома забрудненість», тобто ступінь забруднення середовища, яке вже здійснено. Цей ступінь визначають окремо для звичайних хімічних речовин, теплового та радіаційного забруднення, що пов'язано з їх різною якістю. Також питому забрудненість необхідно розраховувати окремо для ґрунту, води й повітря. Для ґрунту це буде сумарна вага всіх забруднень на  $1 \text{ м}^2$  на рік, для води і повітря – на  $1 \text{ м}^3$  на рік. Наприклад, питома тепла забрудненість – це число градусів, на яке нагріто середовище антропогенними факторами у певний момент або у середньому за рік.

Дія антропогенних факторів на компоненти екосистем не завжди негативна. Позитивним буде такий антропогенний вплив, який викликає зміни у природі, що є сприятливими для людини за наявного характеру взаємодії суспільства з природою. Але при цьому для окремих елементів природи він може бути й негативним. Наприклад, знищення шкідливих організмів є позитивним для людини, але водночас шкідливим для цих організмів; створення водосховищ є корисним для людини, але шкідливим для прилеглих ґрунтів тощо.

АФ різняться за тими наслідками у природному середовищі, до яких призводить або може призводити їхня дія. Тому за характером післядії впливу АФ виділяють такі можливі групи наслідків у природі:

- руйнування або повне знищення окремих елементів природи;
- зміна властивостей цих елементів (наприклад, різке зменшення надходження сонячних промінів на Землю внаслідок запиленості атмосфери, що призводить до змін клімату та погіршує умови здійснення фотосинтезу рослинами);
- збільшення тих, що вже є, та створення нових елементів природи (наприклад, збільшення і створення нових лісосмуг, створення водосховищ тощо);
- переміщення у просторі (з транспортними засобами переміщується багато видів рослин і тварин, у тому числі хвороботворних організмів).

При вивченні наслідків дії АФ слід враховувати той факт, що ці наслідки можуть проявлятися не лише у наш час, а й у майбутньому. Так, наслідки

інтродукції людиною нових видів у екосистемі проявляються лише через десятки років; звичайні хімічні забруднення часто викликають серйозні порушення життєвих функцій лише при їх накопиченні в живих організмах, тобто через певний час після безпосередньої дії фактора. Сучасна природа, коли багато її елементів є прямими чи опосередкованими результатами діяльності людини, дуже мало схожа на колишню внаслідок внесених людиною змін. Усі ці зміни одночасно – антропогенні фактори, які можна вважати елементами сучасної природи. Однак існує низка АФ, які не можна назвати елементами природи, тому що вони належать суто до діяльності суспільства, наприклад, вплив транспортних засобів, вирубка дерев тощо. Водночас водосховища, штучні ліси, рельєф та інші витвори людини слід вважати антропогенними елементами природи, які одночасно є вторинними АФ.

Важливо виявляти всі види антропогенної діяльності та їх масштаби у кожному регіоні. Із цією метою здійснюється якісна і кількісна характеристика антропогенних факторів. Якісне оцінювання АФ здійснюється відповідно до звичайних методик природничих наук; оцінюють головні якісні показники АФ: загальний характер – хімічна речовина, радіохвилі, тиск тощо; основні параметри – довжина хвилі, інтенсивність, концентрація, швидкість руху та ін.; час і тривалість дії фактора – безперервно вдень, у літній сезон тощо; а також характер впливу АФ на досліджуваний об'єкт – переміщення, знищення або зміна властивостей тощо.

Кількісна характеристика АФ здійснюється для визначення масштабів їхнього впливу на компоненти природного середовища. При цьому досліджуються такі головні кількісні показники АФ:

- розмір простору, у якому виявлено і діє фактор;
- ступінь насичення простору цим фактором;
- загальна кількість елементарних та комплексних факторів у цьому просторі;
- ступінь завданого об'єктам збитку;
- ступінь охоплення дією фактора всіх об'єктів, на котрі він впливає.

Розмір простору, у якому виявлений антропогенний фактор, виявляється на основі експедиційних досліджень та визначення ареалу дії цього фактора. Ступінь насичення простору фактором – це відсоткове відношення фактично зайнятого ним простору до ареалу дії фактора. Загальна кількість факторів (елементарних та комплексних) є важливим комплексним показником ступеня дії людини як антропогенного фактора на природу. Для вирішення багатьох питань, пов'язаних з охороною природи, важливо мати загальне уявлення про потужність та широту дії АФ на природу, що називають напруженістю антропогенної дії. Підвищення показників інтенсивності антропогенної дії має супроводжуватися відповідним збільшенням масштабів природоохоронних заходів.

Усе викладене вище свідчить про невідкладність завдань управління виробництвом та характером дії різних антропогенних факторів. Іншими словами, управління АФ – це регулювання їх набору, розподілу у просторі,

якісних та кількісних особливостей з метою забезпечення оптимальних умов розвитку суспільства у його взаємодії з природою. На сьогодні багато шляхів управління АФ, але всі вони потребують удосконалення. Один із таких шляхів – повне припинення виробництва певного фактора, інший – зниження або, навпаки, збільшення виробництва тих чи інших факторів. Ще одним ефективним шляхом є нейтралізація одного фактора іншим (наприклад, вирубка лісів нейтралізується їх повторним насадженням, руйнування ландшафтів - їх рекультивацією та ін.). Здатність людини управляти дією АФ на природу врешті-решт уможливить раціональне керування всім соціальним обміном речовин.

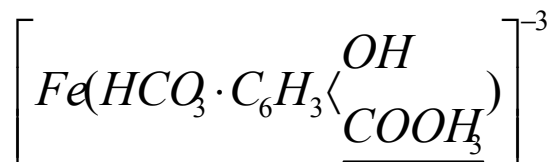
Підсумовуючи, слід підкреслити, що на будь-який вплив природних абіотичних і біотичних факторів у живих організмів вироблені у процесі еволюції певні пристосувальні (адаптивні) властивості, тоді як на більшість антропогенних факторів, які діють переважно раптово (непередбачуваний вплив), подібних пристосувань у живих організмів немає. Саме про цю особливість дії антропогенних факторів на природу люди мають постійно пам'ятати та враховувати її у будь-якій діяльності, пов'язаній з природним середовищем.

### Лабораторна робота 1

#### Визначення вмісту заліза у воді методом фотометрії

У поверхневих водах залізо (II) міститься у достатньо стійкій формі гуміновокислого заліза, в підземних водах зустрічається, головним чином, у виді бікарбонатів  $Fe(HCO_3)_2$ . При контакті підземної води з повітрям бікарбонат заліза окислюється з утворенням бурих пластівців  $Fe(OH)_3$ , які надають воді мутність та жовте забарвлення (якщо вміст залізо перевищує 0,3 мг/л). При концентрації заліза вище 1 мг/л вода набуває в'язучого присмаку. Високий вміст заліза погіршує органолептичні властивості води. Така вода стає непридатною до використання у молочному та текстильному виробництві, стимулює розмноження залізобактерій у водопровідних комунікаціях, що призводить до їх заростання та скорочення строків експлуатації. У водопровідній воді вміст заліза не повинен перевищувати 0,3 мг/л.

В основу методу визначення заліза у воді покладена здатність сульфосаліцилової кислоти у лужному середовищі (рН = 8 - 11,5) утворювати з солями заліза (II та III) забарвлені у жовтий колір комплексні сполуки наступного складу:



Інтенсивність забарвлення комплексів пропорційно концентрації заліза у розчині.

**Мета роботи:** навчитися визначати вміст заліза у воді методом фотометрії.



### **Матеріали і обладнання:**

ФЕК-26; електроплитка; піпетки на 1 мл та 10 мл; пробірки на 25-30 мл; термостійку склянку на 200 мл; дистильована вода; мірна колба на 100 мл; сульфосаліцилова кислота 10%; аміак, водний розчин 10 %; конц. сірчана кислота; азотна кислота; стандартний розчин заліза (залізоамонійні квасци) 0,8634 г розчиняють у дист. воді, далі додають 10 мл сірчаної кислоти і доводять об'єм розчину до 1 л. В 1 мл робочого стандартного розчину міститься 0,01 мг *Fe*.

### **Хід роботи:**

1. Пробу води розбовтати (не фільтрувати). Якщо вода містить багато органічних речовин в склянку з водою додати 2 мл конц. сірчаної кислоти та нагріти рідину до початку виділення густих білих випаровувань  $SO_3$ . Не призупиняючи нагрівання необхідно внести 2-3 краплини конц.  $HNO_3$ . Розчин має знебарвитись і стати прозорим.

2. Оброблену пробу перенести у мірну колбу на 100 мл. Внести в колбу 5 мл 10% розчину сульфасаліцилової кислоти та нейтралізувати її 5 мл 10 % аміаку, додаючи його з надлишком, до пожовтіння проби.

3. Пробу охолодити, об'єм зразку довести до 100 мл та виміряти його оптичну густину на фотоколориметрі при довжині хвилі 420 нм.

4. Для побудови калібрувального графіку у пробірки налити: 0,1; 0,3; 0,5; 0,6; 0,8; 1 мл робочого стандартного розчину. Об'єм до 10 мл довести дистильованою водою. Побудувати графік.

5. Визначити вміст заліза у досліджуваній пробі води. Концентрацію заліза визначити за формулою:  $C = C_x \cdot 100$ , де  $C_x$  – концентрація заліза, що визначена за калібрувальним графіком.

6. Зробити висновок щодо якості води за показником загального вмісту заліза.

## **Лабораторна робота 2**

### **Кондуктометричне визначення показника солоності води**

Надходження фосфатів у ріки й озера є головною причиною їх евтрофікації (*евтрофікація* – збагачення водойм біогенними елементами, що супроводжується підвищенням продуктивності вод, бурхливим розвитком водоростей, "цвітінням" вод, дефіцитом кисню і замором риби й інших живих організмів). Фосфати можуть бути вилучені хімічним осадженням вапном, але це дорого. Можна видаляти фосфати біологічним способом, але цей процес ще недостатньо вивчений і надійний.

**Мета роботи:** навчитися визначати показник солоності води.

**Матеріали і обладнання:** мірний циліндр, колби, піпетки, дистильована вода, розчин  $KCl$ .

*Електричний опір розчину (R)* – величина, обумовлена законом Ома:

$$I = U/R,$$

де  $I$  – струм, що протікає через розчин,  $U$  – різниця потенціалів між електродами.

Одиницею виміру електричного опору є  $[Ом]$ .

*Електропровідність розчину* – величина, зворотна його опору. Її розмірністю є  $(Ом^{-1})$ , або ж, сименс ( $См$ ).

*Питома електропровідність ( $\chi$ )* – це електропровідність шаруючи розчину довжиною  $1 см$ , ув'язненого між електродами площею  $1 см^2$ . Вона виражається в  $Ом^{-1} см^{-1}$  або  $См см^{-1}$ . Шкала використовуваного в роботі кондуктометра градуйована в  $мСм см^{-1}$

*Еквівалентна електропровідність ( $\lambda$ )* дорівнює електропровідності об'єму розчину, що знаходиться між двома паралельними електродами, що відстоять один від іншого на  $1 см$  і з такою площею, що в об'ємі розчину міститься  $1 г-екв$  розчиненої речовини.

$$\lambda = \frac{\chi - \chi_0}{m},$$

де  $\chi_0$  – питома електропровідність чистого розчинника,  $m$  – еквівалентна концентрація (нормальність) розчину.

Опір кондуктометричної комірки залежить не тільки від відстані між електродами і їх площі, але й від форми посудини, рівня залитого електроліту, тобто від «геометрії» комірки. Для посудини будь-якої довільної форми можна записати:

$$R = \frac{1}{\chi} \int_0^l \frac{dl}{S(l)} = \frac{\sigma}{\chi}.$$

Добуток  $R \chi = \sigma$  - не залежить від конкретного електроліту й називається *постійною комірки*, яка обумовлена тільки її геометрією. Для визначення постійної комірки застосовують простий метод. У обраній комірці попередньо вимірюють опір  $R_{ст}$  стандартних розчинів з відомою питомою електропровідністю. У якості таких використовують  $0,1н$  і  $0,01н$  розчини хлористого калію, при  $25^0C$   $\chi_{0.1} = 0,01289 См см^{-1}$ , а  $\chi_{0.01} = 0,001411 См см^{-1}$ .

### **Хід роботи:**

1. Приготувати серію стандартних розчинів  $KCl$ .
2. Після включення приладу занурити датчик у досліджуваний розчин, дочекатися стабілізації температури й установлення показань.
3. Визначити показання приладу й записати їх у робочий зошит.
4. Побудувати калібрований графік.
5. Провести аналіз проби води й визначити в ній концентрацію солей.
6. Зробити висновок.
7. Визначити якість дистильованої води. Дистильована вода гарної якості має електропровідність менше  $2 мкСм/см$ . Пояснити її здатність проводити електричний струм. Які основні аніони й катіони присутні в дистильованій воді? Яке їх походження?

### Лабораторна робота 3

#### Біотестування фітотоксичності речовин, що містяться у воді або ґрунті

Процеси урбанізації безжалісно поглинають потужні сільськогосподарські землі. Все більші території займаються під смітники, відвали, сховища, могильники. В даний час використовується усе більше і більше пестицидів, а вони – залишаються в ґрунті. На величезних площах зростає концентрація неорганічних іонів, у той час як концентрація органічних речовин (живильна основа ґрунту) – падає. Важким забруднювачем ґрунту є нафта і нафтопродукти. Природна ґрунтова мікрофлора здатна руйнувати такі забруднення, але природні сили ґрунту – дуже малі і не справляються з величезною кількістю забруднень. При будь-якій серйозній спробі рекультивувати сильно забруднену землю, необхідним буде цілий ряд технологій, що включають використання штамів, отриманих методами генної інженерії, застосування полімерів, глибоку оранку й аерацію.

**Мета роботи:** навчитися визначати фітотоксичні речовини, що містяться у воді і ґрунті.

**Матеріали і обладнання:** термостат; пінцет; леза; скляна воронка; фільтрувальний папір; пеніцилінові флакони; чашки Петрі; предметні скельця; піпетки на 5 мл; досліджувані зразки ґрунту; насіння пшениці елітного сорту; 2% розчин цукрози

#### Хід роботи:

Дана робота виконується за 3 етапи

*1 етап – отримання зразків біоіндекаторної тест-системи*

1. Приготувати 200 мл 1% розчину  $\text{KMnO}_4$ .
2. Відібрати 50 зерен пшениці у 5 повторностях.
3. Обробити насіння у розчині  $\text{KMnO}_4$  на протязі 20 хвилин. Промити насіння проточною водою.
4. Розкласти пшеницю по 50 шт. на вологий фільтрувальний папір та поставити у термостат при температурі  $25^\circ\text{C}$  на 3 доби.

*2 етап – підготовка досліджуваних зразків до тестування*

5. Відібрати проростки з довжиною колеоптелю – 2-3 см.
6. На предметному склі охайно відрізати самий кінчик колеоптилю (2 мм). За допомогою лінійки відрізати наступні 5 мм колеоптилю, в якому знаходиться зона розтягнення клітин та помістити його у чашку Петрі з дистильованою водою на 10 хв.
7. Приготувати 2% розчин цукрози.
8. Приготувати витяжки з ґрунту: 10 г розтертого зразку ґрунту залити 25 мл дистильованої води. Сильно збовтувати суспензію на протязі 10 хв. Далі суспензії відстоятись. Отриману витяжку з ґрунту профільтрувати.
9. Зробити серію розчинів витяжки з ґрунту методом послідовного розбавлення вихідного зразку в 2 рази.
10. У підготовлені серії розчинів: 1 – 0,5 – 0,25 в пеніцилінових флаконах (10 мл витяжки) помістити по 10 відрізків колеоптелів пшениці. Повторність

кожного варіанту досліду – 3-х кратна. В якості контролю приймається показник розтягнення колеоптилів у дистильованій воді. Поставити флакони у термостат при температурі 25 °С на 3 доби.

3 етап – визначення фітотоксичної дії витяжки з ґрунту

11. Виміряти довжину відрізків колеоптилів у кожному варіанті досліду.
12. Обробити отримані дані за формулою:

$$T = \frac{L_o}{L_k - L_o} \cdot 100\%, \text{ де}$$

$T$  – показник фітотоксичної дії зразку, %;  $L_o$  – довжина колеоптилю у дослідних зразках, мм;  $L_k$  – довжина колеоптилю у контролі, мм.

13. Результати обробити статистично.
14. За отриманими даними побудувати гістограму та зробити висновок.

## ТЕМА 2. БІОЛОГІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

У штучних умовах очищення побутових вод та суміші побутових стічних вод із промисловими проводять в аеротенках або біофільтрах.

### Очищення стічних вод в аеротенках

Аеротенками називають залізобетонні аеровані резервуари відкритого типу. Процес очищення в аеротенку йде в міру протікання через нього аерованої суміші стічної води й активного мулу (рис.2.1). Аерація необхідна для насичення води киснем і підтримки мулу в зваженому стані

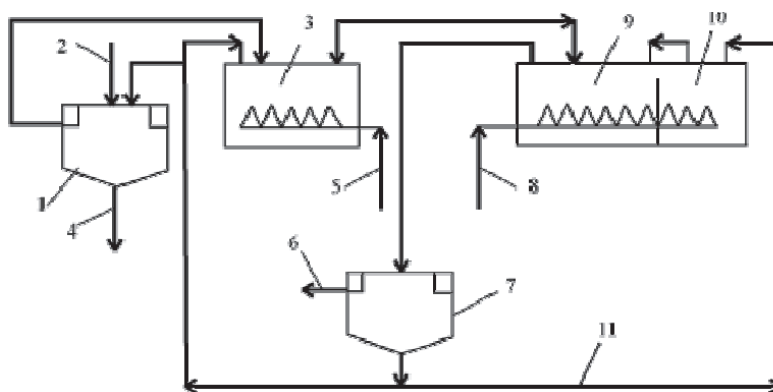


Рис. 1.1 Схема установки для біологічного очищення стічних вод: 1- первинний відстійник; 2 - вхідні стічні води на очищення; 3 -преаератор; 4 - осад; 5, 8 - повітря; 6 - очищені стічні води; 7 - вторинний відстійник; 9 - аеротенк; 10 - регенератор; 11 – активний мул (Корнієнко І. М., 2012).

Стічну воду направляють у відстійник, куди для поліпшення осадження зважених часток можна подавати частину надлишкового мулу. Потім прояснена вода надходить у преаератор-усереднювач, у який направляють мул із вторинного відстійника. Тут стічні води попередньо аеруються повітрям протягом і 5-20 хв. У разі потреби в преаератор можуть бути введені нейтралізуючі добавки і живильні речовини. З усереднювача стічну воду подають в аеротенк, через який циркулює й активний мул. Біохімічні процеси, що протікають в аеротенку, можуть бути розділені на два етапи:

- адсорбція поверхнею активного мулу органічних речовин і мінералізація легко окислюваних речовин при інтенсивному споживанні кисню;

- доокислення органічних речовин, які повільно окисляються, регенерація активного мулу. На цьому етапі кисень витрачається повільніше. Як правило, аеротенк розділений на дві частини: регенератор (25% від загального обсягу) і власне аеротенк, у якому йде основний процес очищення. Наявність регенератора дає можливість очищати більш концентровані стічні води і збільшити продуктивність агрегату. Перед аеротенком стічна рідина повинна містити не більш 150 мг/л зважених часток і не більш 25 мг/л нафтопродуктів. Температура вод, що очищаються, не повинна бути нижче 6 °С и вище 30 °С , а рН – у межах 6,5...9. Після контактування стічна вода з мулом надходить у вторинний відстійник, де відбувається відділення мулу від води. Більшу частину мулу повертають в аеротенк, а його надлишок направляють у преаератор. Аеротенк являє собою відкритий басейн, обладнаний пристроями для примусової аерації. Вони бувають двох-, трьох-, і чотирьохкоридорні. Глибина аеротенків від 2 до 5 метрів.

Аеротенки підрозділяються за наступними основними ознаками:

1) за гідродинамічним режимом – на аеротенки-витискувачі, аеротенки-змішувачі й аеротенки проміжного типу (з розосередженою подачею стічних вод);

2) за способом регенерації активного мулу – на аеротенки з окремою регенерацією й аеротенки без окремої регенерації;

3) за навантаженням на активний мул – на високонавантажені (для неповного очищення), звичайні, і низьконавантажені (із продовженою аерацією);

4) за кількістю ступенів – на одно -, двох -, і багатоступінчасті;

5) за режимом введення стічних вод - на проточні, напівпроточні, з перемінним робочим рівнем, і контактні;

б) за конструктивними ознаками.

Найбільш поширені коридорні аеротенки, що працюють як витискувачі-змішувачі, і з комбінованими режимами. Схеми аеротенків з різною структурою потоків стічної води і поворотної активного мулу показані на рис. 1.2. В аеротенках-витискувачах воду й мул подають у початок спорудження, а суміш відводять наприкінці його. Аеротенк має 1-4 коридори. Теоретичний режим потоку поршневий, без подовжнього перемішування.

На практиці існує значне подовжнє перемішування. Підвищена концентрація забруднень на початку спорудження забезпечує збільшені швидкості окислювання. Зміна складу води по довжині аеротенку ускладнює адаптацію мулу і знижує його активність. Такі аеротенки застосовують для окислювання мало концентрованих вод (до 300 мг/л по БПК<sub>повн</sub>).

В аеротенках-змішувачах воду й мул вводять рівномірно уздовж довгих сторін коридору аеротенка.

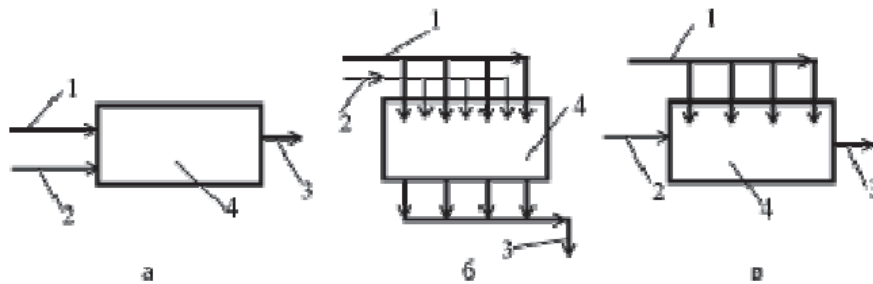


Рис. 1.2 Аеротенки з різною структурою потоків стічної води і поворотного активного мулу: а - аеротенк-витискувач; б - аеротенк-змішувач; в - аеротенк із розосередженою подачею стічної води: 1 - стічні води на очищення; 2 - активний мул; 3 - мулова суміш; 4 – аеротенк (Корнієнко І. М., 2012).

Повне змішування в них стічної води з муловою сумішшю забезпечує вирівнювання концентрацій мулу і швидкостей процесу біохімічного окислювання. Такі аеротенки призначені для очищення концентрованих промислових стічних вод (БПК<sub>повн</sub> до 1000 мг/л) при різних коливаннях їх витрати, складу і кількості забруднень. В аеротенки з розосередженою подачею води її подають у декількох точка по довжині аеротенка, а відводять з торцевої частини. Поворотний мул подають у початок аеротенка. Ці апарати займають проміжне положення між витискувальними і змішувальними. Основні технологічні схеми очищення стічних вод в аеротенках представлені на рисунку 1.3. Одноступінчаті схеми без регенерації мулу застосовують при БПК<sub>повн</sub> стічної води не більш 150 мг/л, з регенерацією - більш 150 мг/л і при наявності шкідливих виробничих домішок. Двоступінчасті схеми застосовують при очищенні висококонцентрованих стічних вод.

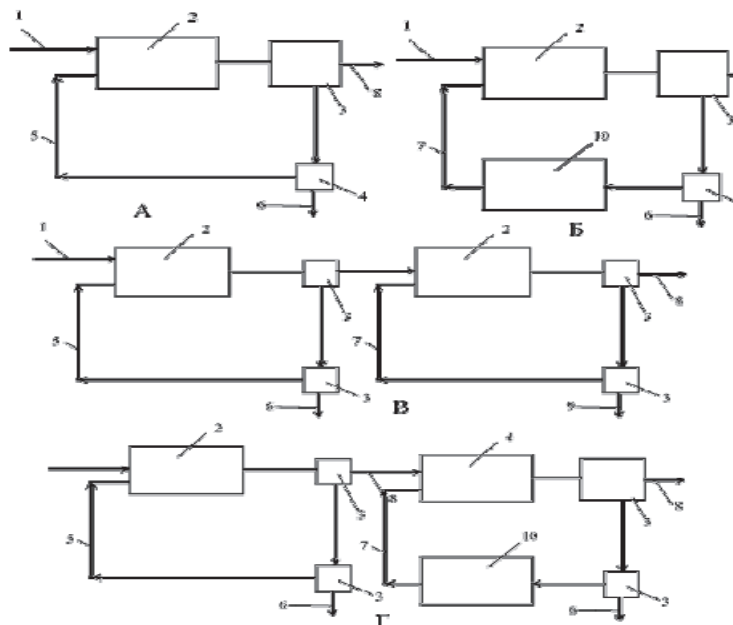


Рис. 1.3. Основні схеми установок очищення стічних вод в аеротенках:

а - з одноступінчастими аеротенками без регенерації; б - одноступінчатий аеротенк з регенерацією; в – із двоступінчастими аеротенками без регенерації; г- те ж, з регенерацією. 1 - стічна вода; 2 - аеротенк; 3 - насосні станції; 4 - аеротенк другого ступеню очищення стічних вод; 5,7 - зворотний мул (Корнієнко І. М., 2012).

## Аерація

Розчинність кисню у воді мало (залежить від температури і тиску), тому для насичення води киснем подають велику кількість повітря (табл.1.2).

*Таблиця 1.2*

### Розчинність кисню в чистій воді при тиску 0,1 Мпа

Температура, °С	5	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
Розчинність, мг/л	12,8	11,3	10,8	10,3	9,8	9,4	9,0	8,7	8,3	8,0	7,7

При аерації повинна бути забезпечена велика поверхня контакту між повітрям, стічною водою і мулом, що є необхідною умовою ефективного очищення. На практиці використовують пневматичний, механічний і пневмомеханічний способи аерації стічної води в аеротенках. Вибір способу аерації залежить від типу аеротенка і від необхідної інтенсивності аерації. При пневматичній аерації стиснене повітря повітродувкою подають через пористі керамічні плити (фільтроси, пористі і перфоровані труби різного діаметра). При механічній аерації відбувається перемішування рідини різними Пристроями, що забезпечують дроблення струменів повітря. Поблизу цих пристроїв виникають пухирці газу, за допомогою яких кисень переходить у стічну воду. Аератори можуть бути з вертикальною і горизонтальною віссю обертання. Аератори з вертикальною віссю обертання поділяються на поверхневі і заглиблені в рідину; за видом механізму аерації вони поділяються на турбінні, пропелерні і струминні. Аератори з горизонтальною віссю обертання можуть бути поверхневі (роторні) і мішалочні. Класифікація механічних аераторів показана на рис. 1.4.



Рис. 1.4 Класифікація механічних аераторів. Механізм аерування в аераторах різної конструкції різних (Корнієнко І. М., 2012):

1) підсмоктування повітря через поверхню рідини в результаті зниження тиску в ній за обертовими лопатками; 2) насичення киснем струменів і крапель рідини, що стикаються з повітрям; 3) змішування води і повітря в міжпластному просторі аераторів в умовах різкого перепаду тисків перед і за



обертливими лопатками; 4) підсмоктування повітря струменями рідини, що падають в основну масу рідини; 5) розчинення кисню через шари поверхні, що обмінюються, рідини при її турбулентному перемішуванні. Пневмомеханічні аератори застосовують у тих випадках, коли потрібно інтенсивне перемішування і висока окисна потужність. У цих аераторах стиснене повітря надходить через аераційне кільце з великими отворами і розбивається на дрібні пухирці. Це сприяє збільшенню ступеня використання кисню і зменшенню енерговитрат на створення дрібних пухирців у порівнянні з аераторами з пористих плит і труб.

### Аеротенки

На рис 1.5а показана схема аеротенка-відстійника, об'єднаного з вторинним відстійником. Зона аерації відділена від зони відстоювання. Стічну воду подають у центрі, а відводять по лотку. У зоні відстоювання утворюється шар зваженого активного мулу, через який фільтрується стічна вода. Надлишковий активний мул відводять із зони зваженого шару по трубах, а зворотний активний мул надходить у зону аерації.

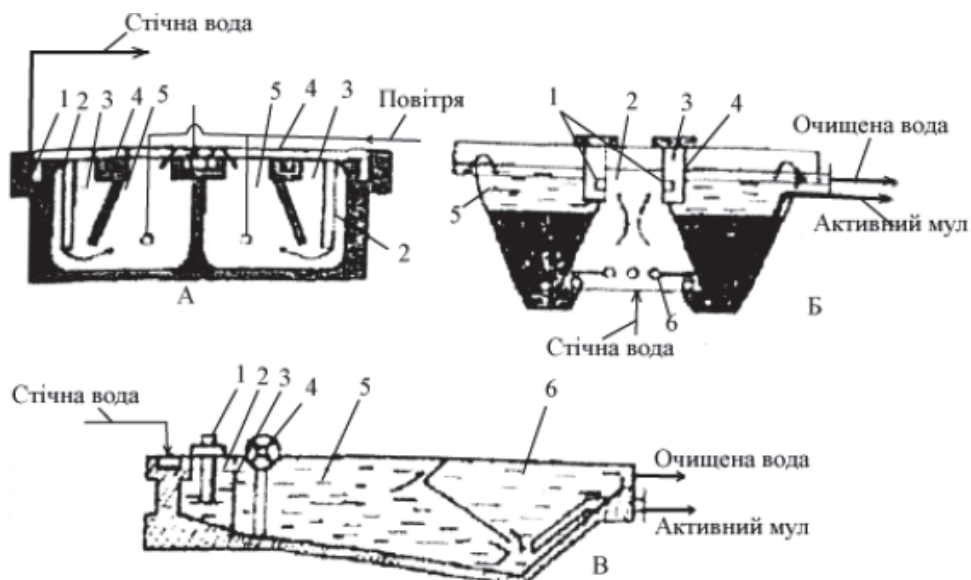


Рис. 1.5 Аеротенки:

А – Аеротенк-відстійник: 1 - лоток, 2 - мулососи, 3 - зона відстоювання, 4 - водозливи, 5 - зона аерації; Б - Аеротенк-освітлювач: 1 - переливні вікна, 2 - зона аерації, 3 - зона дегазації, 4 - направляюча перегородка, 5 - аератор, 6 фона освітлення; В - Двокамерний аеротенк-відстійник: 1 – імпелерний аератор, 2 - зона попереднього збагачення, 3 - перегородка, 4 – роторний аератор, 5 - зона ферментації, 6 - зона освітлення (Кузнецов О. О., 2012).

В аеротенку-освітлювачі (рис. 1.5б) стічна вода надходить у зону аерації, де змішується з активним мулом і аерується. Потім суміш через вікна попадає в зону освітлення і зону дегазації. У зоні освітлення виникає завислий шар активного мулу, через який фільтрується мулова суміш. Очищена вода через лотки віддаляється з аеротенка. Двокамерні аеротенки-відстійники (рис 1.5в) є різновидом аеротенків-освітлювачів.



## Спільне очищення побутових і промислових стічних вод

Процес очищення протікає більш стійко і повно, коли ведуть спільне очищення виробничих і побутових стічних вод, оскільки побутові води містять біогенні елементи, а також розбавляють виробничі стічні води (рис.1.6). Побутові стічні води надходять в усереднювач, а потім у відстійник. Після освітлення воду направляють у змішувач, де змішують виробничою стічною водою, що надходить з відстійника. Далі суміш побутових і промислових вод надходить в аеротенк. Після відділення активного мулу у вторинному відстійнику, стічні води знешкоджують хлором, потім скидають у водойму чи направляють для використання у виробництві. Осад з відстійників надходить у метантенки. Виділений у процесі бродіння газ з метантенків направляють на спалювання в котельню. Осад бродіння знешкоджують і переробляють у добриво.

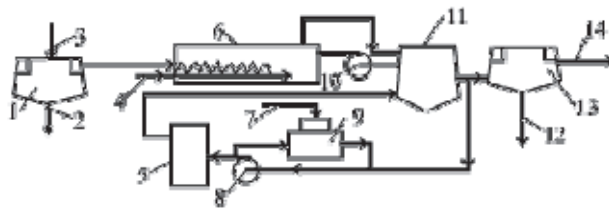


Рис. 1.6 Схема установки для спільного очищення побутових і промислових стічних вод: 1 - побутові стоки; 2 - промислові стоки; 3, 4 - усереднювач; 5, 6 - первинні відстійники; 7 - змішувач; 8, 14 - осад; 9 - повітря; 10 - метантенк; 11 - апарат, що збезводнює; 12 - вологий осад; 13 - аеротенк; 15 - вторинний відстійник; 16 - біогаз; 17 - хлор (озон); 18 - контактний відстійник; 19 - котельня; 20 - очищені стічні води (Кузнецов О. О., 2012).

### Контрольні запитання:

1. Які конструкції аеротенків існують?
2. Які функції виконують вторинні відстійники?
3. Яку концентрацію активного мулу необхідно підтримувати у флотаторах, аеротенках?

## Лабораторна робота 4

### Біологічне видалення азоту з осаду стічних вод

*Біологічне очищення стічних вод* – добре освоєний процес. Однак, цей процес у його теперішньому стані дозволяє руйнувати тільки відносно прості органічні й амонійні з'єднання. Неорганічні з'єднання, токсини, комплексні з'єднання і складні органічні сполуки (які також можуть бути токсичними) зв'язуються з біомасою, частково руйнуються, але ступінь очищення від них набагато нижче. Наприклад, використання очищення за допомогою активного мулу не гарантує видалення іонів важких металів (кадмій, хром, нікель, свинець, ртуть). Хоча концентрація таких неконтрольованих забруднень у комунальних стоках повинна бути обмежена, вони усе ще являють загрозу для навколишнього середовища при їхньому просакуванні у вихідний стік. Якщо ж вони сорбуються в активному мулі, то при внесенні цього мулу в ґрунт можуть виникати серйозні проблеми. Процес очищення стічних вод може

здійснюватися за допомогою звичайних очисних споруджень (аеротенк, біофільтр), штучно іммобілізовано біомаси за допомогою іммобілізованих ферментів. Успіхи в створенні і використанні нових видів біомаси і ферментів допоможуть вирішити багато складних проблем. Інша область, у якій успіхи біотехнології будуть сприяти поліпшенню очищення стічних вод, - це видалення важких металів. Звичайно іони важких металів видаляють з розчинів адсорбцією на полісахаридах. Однак сучасний рівень розвитку знань у цій області не дозволяє оптимізувати процес видалення іонів металів та керувати цим процесом у звичайних системах біоочистки стічних вод.

**Мета роботи:** визначення нітратів на різних етапах їх біологічного видалення зі стічних вод.

**Матеріали і обладнання:** зразки стічних вод комунального призначення, міні-біофільтр, оцтова кислота, етанол.

#### Хід роботи:

Біологічне видалення азоту відбувається у чотири етапи:

1 етап – амоніфікація;

2 етап – мікробіологічна нітрифікація іонів амонію до нітритів (*Nitrosomonas*);

3 етап – мікробіологічне окислення нітритів до нітратів (*Nitrobacter*);

4 етап – денітрифікація нітратів до молекулярного азоту.

Чисельність нітрифікуючи бактерій росте повільніше, аніж гетеротрофів та денітрифікаторів. Із зменшенням навантаження на очисні споруди вік активного мулу збільшується, а чисельність нітрифікаторів росте. Їх активність найбільш висока за умов рН середовища в інтервалі від 7,5 до 8,5. У більш кислому чи лужному середовищі процес нітрифікації призупиняється.

1. Збільшення показника рН менш впливає на перший етап нітрифікації. В такому випадку який продукт починає накопичуватись у середовищі? Чому?

2. За даними таблиці 1.3 побудувати графік температурної залежності швидкості денітрифікації нітрат іонів у стічних водах.

Таблиця 1.3

#### Швидкість денітрифікації за різних температурних показників

T <sup>0</sup> C	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
V <sub>дн</sub> (Т)	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07
T <sup>0</sup> C	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
V <sub>дн</sub> (Т)	0,07	0,08	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,17
T <sup>0</sup> C	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
V <sub>дн</sub> (Т)	0,17	0,18	0,20	0,21	0,23	0,25	0,28	0,30	0,33	0,36	0,39

Вказати якою функцією можна описати отриману емпіричну залежність? Визначте швидкість денітрифікації за температурою 20<sup>0</sup>C.

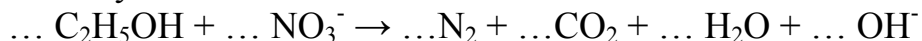
Пояснити чому за умов зниження температури більш як на 15 °C відбувається зменшення швидкості відновлення нітриту?

3. Чому для деградації толуолу, ксилолу, хлорфенолу нітратами необхідна низька концентрація кисню у воді?

4. Відновити реакцію денітрифікації органічних речовин бактеріями:  
оцтової кислоти



етанолу



5. Який етап біологічного видалення азоту описують наведені вище рівняння?

6. Зробити висновки.

## Лабораторна робота 5

### Розрахунок полів фільтрації, полів зрошення

*Поля зрошення* – це спеціально підготовлені земельні ділянки, використовувані одночасно для очищення стічних вод і агрокультурних цілей. Очищення стічних вод у цих умовах проходить під дією ґрунтової мікрофлори, сонця, повітря і під впливом життєдіяльності рослин. У ґрунті полів зрошення знаходяться бактерії, актиноміцети, дріжджі, гриби, водорості, найпростіші і безхребетні тварини. Стічні води містять в основному бактерії. У змішаних біоценозах активного шару ґрунту виникають складні взаємодії мікроорганізмів симбіотичного і конкурентного порядку. Кількість мікроорганізмів у ґрунті землеробських полів зрошення залежить від пори року. Узимку кількість мікроорганізмів значно менше, ніж влітку. Якщо на полях не вирощуються сільськогосподарські культури і вони призначені тільки для біологічного очищення стічних вод, то вони називаються полями фільтрації. Землеробські поля зрошення після біологічного очищення стічних вод, зволоження і удобрення використовують для вирощування зернових і силосних культур, овочів, а також для посадки дерев і чагарників. Землеробські поля зрошення мають наступні переваги перед аеротенками:

- знижені капітальні й експлуатаційні витрати;
- виключається скидання стоків за межі зрошуваної площі;
- забезпечується одержання високих і стійких врожаїв сільськогосподарських рослин;
- включаються у сільськогосподарський оборот малопродуктивні землі.

У процесі біологічного очищення стічні води проходять через фільтруючий шар ґрунту, у якому затримуються зважені і колоїдні частки, утворюючи в порах ґрунту мікробну плівку. Потім утворена плівка адсорбує колоїдні частки і розчинені в стічних водах речовини. Проникаючий з повітря в пори кисень окисляє органічні речовини, перетворюючи їх у мінеральні сполуки. У глибокі шари ґрунту проникання кисню ускладнене, тому найбільш інтенсивне окислювання відбувається у верхніх шарах ґрунту (0,2 - 0,4 м). При нестачі кисню в ставках починають переважати анаеробні процеси. Поля зрошення краще влаштовувати на піщаних, суглинних і чорноземних ґрунтах. Ґрунтові води повинні бути не вище 1,25 м від поверхні. Якщо ґрунтові води залягають вище цього рівня, то необхідно влаштовувати дренаж. Частину території землеробського поля зрошення відводять під резервне поле фільтрації,

тому що в деякі періоди року не проводять випуск стічної води на поля зрошення.

**Мета роботи:** отримати навички з виконання розрахунків очисних споруд біологічного призначення – полів фільтрації, полів зрошення.

**Завдання:**

1. Опрацювати теоретичних аспектів відносно розрахунків очисних споруд – полів фільтрації, зрошення.

2. Ознайомитися з методологією розрахунків та СНП за наведеними формулами.

3. Розв'язати задачі за наведеним прикладом.

4. Самостійно розв'язати задачі за вказаним варіантом.

5. Навести порівняльну характеристику отриманих результатів досліджень з загальноприйнятими.

Розрахунок полів фільтрації або зрошення проводять за середньодобової норми навантаження, тобто кількості стічних вод, що приходить на 1га площі полів у середньому за добу протягом року.

Повну розрахункову площу *полів фільтрації* визначають:

$$F_{\text{ф}} = F_{\text{ф.кор.}} + F_{\text{ф.рез.}} + k_{\text{ф.д.}} \cdot (F_{\text{ф.кор.}} + F_{\text{ф.рез.}})$$

де  $F_{\text{ф.кор.}}$  – корисна площа полів фільтрації, га;

$F_{\text{ф.рез.}}$  – резервна площа полів фільтрації, дорівнює 10 – 25% від корисної площі  $F_{\text{ф.кор.}}$ , га;

$k_{\text{ф.д.}}$  – коефіцієнт, що враховує збільшення площі у зв'язку з облаштуванням допоміжних споруд, для полів фільтрації  $k_{\text{ф.д.}} = 0,25 - 0,30$ .

Повну розрахункову площу *полів зрошення* розраховують:

$$F_{\text{н.з.}} = F_{\text{з.кор.}} + F_{\text{з.рез.}} + k_{\text{з.д.}} \cdot (F_{\text{з.кор.}} + F_{\text{з.рез.}}), \text{ га (1.2)}$$

де  $F_{\text{з.кор.}}$  – корисна площа полів зрошення, га;

$F_{\text{з.рез.}}$  – резервна площа полів зрошення, га;

$k_{\text{з.д.}}$  – коефіцієнт, що враховує збільшення площі у зв'язку з облаштування допоміжних споруд,  $k_{\text{з.д.}} = 0,15 - 0,25$ .

Корисна площа для *полів фільтрації*:

$$F_{\text{ф.кор.}} = Q / q_{\text{ф}}, \text{ га (1.3)}$$

де  $Q$  – середньодобова витрата стічних вод, ( $\text{м}^3/\text{добу}$ );

$q_{\text{ф}}$  – навантаження стічних вод на поля фільтрації, що визначаються за СНП 2.04.03-08 ( $q_{\text{ф}} = 235 \text{ м}^3/\text{га} \cdot \text{добу}$ ).

Корисна площа для *полів зрошення*:

$$F_{з.кор.} = Q/q_з, га (1.4)$$

де  $Q$  – середньодобова витрата стічних вод, (м<sup>3</sup>/добу);

$q_з$  – навантаження стічних вод на поля зрошення, що визначаються як середньозважена величина з навантажень на ділянки з різними видами сільськогосподарських культур (див. табл. 1.4).

Таблиця 1.4

**Норми навантаження побутових стічних вод на поля зрошення для районів із середньорічною висотою шару атмосферних опадів 300-500 мм**

Середньорічна температура повітря, °С	Навантаження на поля зрошення в залежності від типу ґрунту, м <sup>3</sup> /га/добу)		
	суглинок	супісок	пісок
До 3,5	30/15	40/20	60/30
3,6 –6	35/20	50/25	75/40
6,1–9,5	45/25	60/30	80/40
9,6–11	60/30	70/35	85/45
Понад 11	70/35	80/40	90/45

Примітка:

1) навантаження приведені у чисельнику для городніх сільськогосподарських культур, у знаменнику - для польових;

2) для районів із середньорічною висотою шару атмосферних опадів 500 - 700 мм норми навантаження на полях зрошення зменшуються на 10-15%, а для районів із середньорічною висотою шару атмосферних опадів понад 700 мм - на 15-25%. Більший відсоток приймають для суглинків, менший - для пісків.

Оскільки, в деякий період року випуск стічної води на поля зрошення не допускається для прийому стічних вод на цей час служать резервні ділянки, що не зайняті під сільськогосподарські культури, які виконують роль звичайних полів фільтрації. Їхня площа розраховується за формулою (1.5):

$$F_{з.рез.} = a \cdot Q/q_{\phi}, га (1.5)$$

де  $a$  – коефіцієнт, що враховує частину витрати стічних вод, що надходять на резервні ділянки (значення  $a$  для районів з середньорічною температурою повітря до 5; 10; 15°С приймається відповідно 1; 0,75; 0,5).

$q_{\phi}$  – норма навантаження стічних вод на резервні поля фільтрації, приймається за СНіП 2.04.03-08 ( $q_{\phi} = 235$  м<sup>3</sup>/га·добу).

В зимовий період часу, після промерзання ґрунту, фільтрація стічної води практично припиняється і починає поступове наморожування стічної води. Необхідна площа наморожування розраховується за формулою (1.6):

$$F_{нам} = Q \cdot t_{нам} \cdot (1-\beta) / (h_{нам} - h_{он}) \cdot \rho \cdot 10^4$$

де  $t_{нам}$  – тривалість періоду зимового наморожування, що визначається за СНіПом і складає відповідну кількість днів;

$\beta$  – коефіцієнт зимової фільтрації, що залежить від фільтраційної здатності

ґрунтів (для суглинків, супісків і пісків відповідно  $\beta = 0,3; 0,45; 0,55$ );

$h_{нам}$  – висота шару наморожування, що приймається не більше 1м, (0,5-0,6м);

$h_{оп}$  – шар зимових опадів, м;

$\rho$  – щільність льоду,  $\rho = 0,9$  т/м<sup>3</sup>.

Для повного розрахунку споруд біологічного очищення стічних вод у природних умовах необхідно визначати характеристики їх дренажної системи, а саме кількість карт полів, витрати води на одну карту та водовідведення. А також визначення модулю стоку.

Магістральний канал розраховують на загальну максимально секундну витрату, а розподільний канал розраховують на максимальну секундну витрату, що залежить від числа карт, які одночасно зрошують та примикають до даного розподільного каналу.

Число карт розраховується за формулою (1.7):

$$N_{од} = N_{о.заг.} / N_{м.п.}$$

де  $N_{од}$  - загальна кількість карт;

$t_{мп}$  - період між поливами, призначається в межах 5-10діб в залежності від водно-повітряного режиму полів фільтрації чи зрошення, фільтраційної здатності ґрунтів та рівня ґрунтових вод.

Витрата води, що надходить на одну карту, залежить від максимальної секундної витрати  $q_{max}$  і розраховується за формулою (1.8):

$$q^1 = q_{max} / N_{од} \quad (1.8)$$

При несприятливих ґрунтових умовах на полях зрошення і фільтрації влаштовують осушувальну (водовідвідну) мережу, яка складається з дренажу, збірної мережі, відвідних ліній і випусків. Дренаж є важливим елементом полів в таких умовах. Він дозволяє вчасно відводити зайву вологу ґрунту і сприяє проникненню повітря в осушувальний шар, без чого не може проходити аеробний окисний процес. Пристрій дренажу обов'язковий при заляганні ґрунтових вод на глибині менше 1,5м від поверхні ґрунту.

Розрахунок дренажної мережі полів зрошення і фільтрації зводиться до визначення модулю стоку (витрати води, що повинна бути відведена з ділянки осушування) та висоти шару води, яку необхідно виводити дренажною мережею.

Модуль стоку розраховують за формулою (1.9):

$$q_{др.} = k_n \cdot q^1 \cdot t_{мп} \cdot k_{ом} \cdot 1000 / t_{др} \cdot 86400 \quad (1.9)$$

де  $k_n$  - коефіцієнт просочування, що враховує поглинання води рослинами і випар с поверхні ґрунту,  $k_n \approx 0,5$ ;

$k_{ом}$  - коефіцієнт нерівномірності надходження води в осушувальну мережу,  $k_{ом} \approx 1,5$  ;

$i_{др}$  - тривалість відведення дренажної води з карти  $i_{др} = (0,4-0,5) \cdot t_{мп}$ , діб.

Висота шару води, яку необхідно виводити дренажною мережею, розраховують за формулою (1.10):

$$h_{від} = k_n \cdot q_{ф} \cdot t_{мп} \cdot k_{ом} / t_{др} \cdot 10^4, \text{ м} \quad (1.10)$$

**Приклад 1.1.** Визначити повну розрахункову площу полів фільтрації розташованих в районі міста Києва, якщо середньодобова витрата стічних вод складає 5000 м /добу, навантаження стічних вод на поля фільтрації 235 м /га-добу , зимовий шар опадів 75мм, ґрунт на території поля пісок. Перевірити, чи забезпечує розрахункова площа пропуск стоків у період зимового наморожування протягом 30діб.

#### Розв'язання:

Повна розрахункова площа полів фільтрації:

$$F_{ф} = F_{ф.кор.} + F_{ф.рез.} + k_{ф.д.} \cdot (F_{ф.кор.} + F_{ф.рез.})$$

Корисна площа полів фільтрації:

$$F_{ф.кор.} = Q / q_{ф.} = 5000 / 235 = 21,28(\text{га})$$

Резервна площа полів зрошення:

$$F_{фрез} = 21,28 \cdot 0,175 = 3,724 (\text{га})$$

Коефіцієнт, що враховує збільшення площі у зв'язку з облаштуванням допоміжних споруд,

$$k_{ф.д.} = 0,27$$

$$F_{ф} = 21,28 + 3,724 + 0,27 \cdot (21,28 + 3,724) = 31,88 (\text{га})$$

Площа наморожування

$$F_{нам} = Q \cdot t_{нам} \cdot (1-\beta) / (h_{нам} - h_{он}) \cdot \rho \cdot 10^4$$

$n_{нам} = 0,6\text{м}$ ;  $\beta$  для пісків дорівнює 0,55;  $\rho = 0,9 \text{ т/м}^3$  ;

$$5000 \cdot 30(1 - 0,55) / (0,6 - 75 \cdot 10^{-3}) \cdot 0,9 \cdot 10^4 = 14,286 (\text{га})$$

**Висновок:** оскільки  $F_{нам} < F_{ф}$ , тому дана площа полів фільтрації зможе функціонувати протягом 30діб. Тобто  $F_{ф}$  забезпечує пропуск стоків у зимовий період (задовольняє потребі проведення очищення стічних вод в кількості 5000 м/добу для м. Києва).

**Приклад 1.2.** Визначити повну розрахункову площу та дренажну мережу полів зрошення розташованих в районі міста Харкова, якщо середньодобова витрата біологічно очищених стічних вод складає 4,5 тис.м /добу. Максимальна секундна витрата -94 л/с, середньорічна температура повітря  $6,9^{\circ}\text{C}$ , середньорічна висота шару атмосферних опадів 609мм, шар зимових опадів

80мм, ґрунти на території полів - супіски, рівень ґрунтових вод на глибині 3м. Площа полів на 70% зайнята городніми і на 30% - польовими культурами. Рельєф - спокійний з ухилом приблизно 0,003м.

### Варіанти для розв'язання задач

Варіант	Витрати м <sup>3</sup> /доб	Навантаження м/га*доб	Висота шару опадів, мм	Середньорічна температура	Тип ґрунту
1	1200	180	45	3,5	Суглинок
2	1100	190	55	3,5	Супісок
3	1150	200	65	5	Пісок
4	1170	215	70	6	Суглинок
5	2000	223	75	8	Супісок
6	2100	245	80	10	Пісок
7	2150	250	85	11	Суглинок
8	2230	259	30	15	Супісок
9	2350	278	25	16	Суглинок
10	2400	289	29	18	Супісок
11	2500	295	15	20	Пісок
12	2560	300	90	21	Суглинок
13	2578	320	93	22	Супісок
14	2620	315	100	3,6	Пісок
15	2650	340	110	3,9	Суглинок
16	2700	365	115	7,9	Супісок
17	2758	336	120	8,8	Пісок
18	2858	339	125	4,5	Суглинок
19	3000	350	130	4,6	Супісок
20	3100	360	135	20	Пісок
21	3200	370	140	18	Суглинок
22	3300	400	145	15	Супісок
23	3700	420	150	19	Пісок

### Розв'язання:

Повна розрахункова площа полів зрошення:

$$F_{\phi} = F_{\phi.кор.} + F_{\phi.рез.} + k_{\phi.д.} \cdot (F_{\phi.кор.} + F_{\phi.рез.})$$

Корисна площа для полів зрошення:

$$F_{\phi.кор.} = Q / q_{\phi} = 4500 / 60 \cdot 0,7 \cdot 30 \cdot 0,3 = 88,24 \text{ га}$$

Резервна площа для полів зрошення:

$$F_{\phi.рез.} = a \cdot Q / q_{\phi} = 0,75 \cdot 4500 / 235 = 14,36 \text{ (га)};$$

Коефіцієнт, що враховує збільшення площі у зв'язку з облаштуванням допоміжних споруд,  $k_{\phi.д.} = 0,2$ ,



$$F_{п.з} = 88, 24 + 14, 36 + 0, 2 (88, 24 + 14, 36) = 123, 12 \text{ (га)}.$$

Розрахунок дренажної мережі.

У зв'язку з тим, що поля зрошення розміщуються на супіщаних ґрунтах, а ґрунтові води залягають на глибині 3м, передбачено організувати відкритий дренаж. За для розрахунку дренажної мережі необхідно визначити розміри карт полів зрошення. За розрахунками визначено повну площу полів зрошення, що дорівнює  $123,12 \text{ га} = 1231200 \text{ м}^2$ , для супісків приймаємо ширину полів зрошення  $90\text{м}$ , при цьому довжина повинна бути у 4-5 разів більшою -  $360\text{м}$ . Отже площа однієї карти полів зрошення складає:

$$S_{\text{карти}} = 90 \cdot 360 = 32400 (\text{м}^2) = 3,24 (\text{га})$$

З урахуванням площі однієї карти, розбиваємо повну розрахункову площу полів зрошення на карти  $N_{\text{о.заг}}$  та знаходимо кількість карт, що зрошуються одночасно  $N_{\text{од}}$

$$N_{\text{о.заг}} = F_{п.з} / S_{\text{карти}} = 123,12 \text{ га} / 3,24 \text{ га} = 38 \text{ карт}$$

$$N_{\text{од}} = N_{\text{о.заг}} / t_{\text{мп}} = 38 / 7,5 = 5 \text{ карт}$$

Витрата води, що надходить на одну карту:

$$q^1 = q_{\text{max}} / N_{\text{од}} = 94 / 5 = 18,8 \text{ л/с}$$

Витрата води, що повинна відводитись з полів зрошення (модуль стоку), з урахуванням

$$k_n = 0,5; k_{\text{ом}} = 1,5; t_{\text{м.п.}} = 7,5; t_{\text{др}} = 0,45 * 7,5 * 3,375$$

$$q_{\text{др}} = \frac{k_n \cdot q^1 \cdot t_{\text{м.п.}} \cdot k_{\text{ом}} \cdot 1000}{t_{\text{др}} \cdot 86400} = \frac{0,5 \cdot 18,8 \cdot 7,5 \cdot 1,5 \cdot 1000}{0,45 \cdot 7,5 \cdot 86400} = 3,627 \text{ (м}^3\text{/га}\cdot\text{сек)}$$

Висота шару води, яку необхідно виводити дренажною мережею:

$$h_{\text{сід}} = \frac{k_n \cdot q^1 \cdot t_{\text{м.п.}} \cdot k_{\text{ом}}}{t_{\text{др}} \cdot 10^4} = \frac{0,5 \cdot 18,8 \cdot 7,5 \cdot 1,5}{3,375 \cdot 10^4} = 0,0031 \text{ (м / доба}\cdot\text{га)}$$

**Висновок:** на повній розрахунковій площі полів зрошення  $F_{п.з} = 123,12 \text{ (га)}$ , що складається з 38 карт, площа кожної -  $3,24\text{га}$ , виявили, необхідність влаштування дренажу, який повинний забезпечувати відвід води в кількості  $3,627 \text{ м}^3\text{/га сек}$ , що затримується шаром висотою  $0,0031 \text{ м / доба га}$ .

**Приклад 1.3.** Визначити повну розрахункову площу полів зрошення, зайнятих городніми культурами, що розташовані в районі міста Києва, якщо середньодобова витрата стічних вод складає  $5000 \text{ м}^3\text{/добу}$ , середньорічна температура повітря  $7,6^\circ\text{C}$ , шар зимових опадів  $75\text{мм}$ , ґрунт - пісок.

Перевірити, чи забезпечується розрахункова площа пропуск стоків у період зимового наморожування протягом 30діб.

### Розв'язання

Повна розрахункова площа полів зрошення:

$$F_{\phi} = F_{\phi.\text{кор.}} + F_{\phi.\text{рез.}} + k_{\phi.\text{д.}} \cdot (F_{\phi.\text{кор.}} + F_{\phi.\text{рез.}})$$

Корисна площа для полів зрошення:

$$F_{\phi.\text{кор.}} = Q/q_z = 5000/80 = 62,5 \text{ га}$$

Резервна площа для полів зрошення:

$$F_{z.\text{рез.}} = a \cdot Q/q_{\phi} = 0,75 \cdot 5000 / 235 = 15,96 \text{ (га)}$$

$$F_{n.z} = 62,5 + 15,96 + 0,2 \cdot (62,5 + 15,96) = 94,15 \text{ (га)}$$

Площа заморожування при  $h_{\text{нам}} = 0,55\text{м}$ ;  $\beta$  для пісків дорівнює 0,55;  $\rho = 0,9 \text{ т/м}^3$

$$F_{\text{нам}} = \frac{Q \cdot t_{\text{нам}} \cdot (1 - \beta)}{(h_{\text{нам}} - h_{\text{оп}}) \cdot \rho \cdot 10^4} = \frac{5000 \cdot 30 \cdot (1 - 0,55)}{(0,55 - 75 \cdot 10^{-3}) \cdot 0,9 \cdot 10^4} = 15,79 \text{ (га)}$$

**Висновок:** оскільки  $F_{\text{нам}} < F_{n.z}$ , тому дана площа полів зрошення зможе забезпечувати пропуск стоків у зимовий період протягом 30діб (задовольняє потребі проведення очищення стічних вод в кількості з 5000 м /добу для м. Києва).

### Лабораторна робота 6 Розрахунок об'єму аеротенків

**Мета роботи:** отримання практичних навичок з розрахунків очисних споруд біологічного призначення – аеротенків.

#### Завдання:

1. Опрацювати теоретичні аспекти відносно розрахунків очисних споруд – полів фільтрації, зрошення.
2. Ознайомитися з методологією розрахунків та СНП за наведеними формулами.
3. Розв'язати задачі за наведеним прикладом.
4. Самостійно розв'язати задачі за вказаним варіантом.
5. Навести порівняльну характеристику отриманих результатів досліджень з загальноприйнятими.

Розрахунок аеротенків включає визначення ємності та габаритів спорудження, обсягу необхідного повітря та надлишкового активного мулу, а також тривалість аерації, у тому числі необхідний для очищення води в процесі регенерації активного мулу і необхідний час очищення води.

Тривалість аерації в аеротенках визначається за формулою:

$$t = \frac{L_a - L_t}{a \cdot (1 - S_L) \rho}, \text{ год} \quad (2.1)$$

де  $L_a$  – БПК<sub>повн</sub> (біологічна потреба кисню) стічної води, що надходить до аеротенку, мг/л;

$Lt$  – БПК<sub>повн</sub> очищеної води, мг/л;

$a$  – доза мулу (г/л), для аеротенків, розрахованих на повне очищення міських стічних вод необхідно 1 – 3 г/л кількості мулу:

при БПК<sub>повн</sub> стічної води, що надходить до аеротенку до 100 →  $a=1,2$ ;

при  $La = 101 – 150$  →  $a = 1,5$ ;

при  $La = 151 – 200$  →  $a = 1,8$ ;

при  $La$  понад 201 →  $1,8 < a < 3$  ; для аеротенків розрахованих на повну мінералізацію мулу  $a=5$  г/л.

$S_L$  – зольність мулу в частках одиниць, приймається для аеротенків з повною мінералізацією мулу 0,35;

$\rho$  – середні розрахункові швидкості окислювання в мг БПК<sub>повн</sub> на 1г беззольної речовини мулу за 1год, приймається для міських стічних вод за СНіП 2.04.03-85. для аеротенків з повною мінералізацією мулу  $\rho = 4$  мг БПК<sub>повн</sub> на 1г беззольної речовини за 1год.

Значення  $t$ , підраховане за (2.1) справедливе, якщо середньорічна температура стічної води складає  $T=15$  °C , при інших значеннях температури обчислена величина  $t$  збільшується на відношення  $t=15/T$ . Тривалість аерації приймається не менше ніж 2год. Робочий обсяг аеротенку:

$$V = t \frac{Q}{24}, \text{м}^3 \quad (2.2)$$

де  $Q$  - розрахункова витрата стічної води, м /добу.

При проектуванні аеротенків з регенераторами підраховують роздільно час і параметри споруджень, необхідні для очищення води  $t_a$ , загальний час окислення забруднень  $t_0$ , і по різниці цих величин - час перебування мулу в регенераторі для закінчення окисних процесів переробки забруднень  $t_{рег}$ .

$$t_a = \frac{2,5}{a^{0,5}} \cdot \lg \frac{L_a}{L_t} \quad (2.3)$$

$$t_0 = \frac{L_a - L_t}{\alpha \cdot a_{рег} \cdot (1 - S_L) \rho} \quad (2.4)$$

$$t_{рег} = t_0 - t_a \quad (2.5)$$

$$\alpha = \frac{a}{a_{рег} - a} \quad (2.6)$$

де  $\alpha$  – частка витрати циркулюючого мулу від розрахункової витрати стічної води

$a$  – доза мулу в аеротенку, г/л ;

$a_{рег}$  – доза мулу в регенераторі, г/л. Чисельні значення доз мулу при розрахунку аеротенків з

регенераторами рекомендується приймати за СніПом 2.04.03-85, для умовних розрахунків  $a_{рег} = 4$  г/л.

Обсяги споруджень аеротенків з регенераторами розраховуються подібним чином - різниця між загальним обсягом споруди та обсягом регенератора:

$$V_a = t_a (1 + \alpha) \cdot Q \quad (2.7)$$

$$V_{рег} = t_{рег} \cdot \alpha \cdot Q \quad (2.8)$$

$$V = V_a + V_{рег} \quad (2.9)$$

де  $Q$  - розрахункова витрата стічних вод, м<sup>3</sup>/год;

$V_a, V_{рег}$  - обсяг аеротенку та регенератора відповідно, м<sup>3</sup>

$V$  - загальний обсяг системи з очищення стічної води, м<sup>3</sup>.

Ступінь регенерації активного мулу розраховують за формулою (2.10):

$$P_{рег} = \frac{t_o - t_a}{t_o} \cdot 100, \% \quad \text{або} \quad P_{рег} = \frac{V_a}{V} \cdot 100, \% \quad (2.10)$$

Приріст мулу в аеротенках усіх систем при очищенні міських стічних вод визначається за формулою (2.11):

$$P_p = 0,8B + 0,3 L_a, \text{ мг/л} \quad (2.11)$$

де  $B$  - вміст зважених речовин у воді, що надходить до аеротенку, мг/л.

Питома витрата повітря  $D$  (м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>) при очищенні в аеротенках визначають відношенням витрати кисню, що необхідний для обробки 1 м<sup>3</sup> води, до витрати кисню, що використовується з 1 м<sup>3</sup> повітря:

$$D = \frac{z \cdot (L_a - L_t)}{k_1 \cdot k_2 \cdot n_1 \cdot n_2 (C_p - C)}, \text{ м}^3/\text{м}^3 \quad (2.12)$$

де  $z$  - питома витрата кисню у мг/мг БПК<sub>повн</sub> (для повного очищення  $z = 1,1$  мг/мг; для часткового очищення стічної води  $z = 0,9$  мг/мг;

для повної мінералізації  $z = 2,2$  мг/мг;

$k_1$  - коефіцієнт, що враховує тип аератора,  $k_1 = 1,47$ ;

$k_2$  - коефіцієнт, що залежить від глибини занурення аератора,  $k_2 = 2,68$ ;

$n_1$  - коефіцієнт, що враховує температуру стічної води,  $n_1 = 1,02$ ;

$n_2$  - коефіцієнт, що враховує відношення швидкості переносу кисню у муловій суміші до швидкості переносу його у чистій воді (для побутових стічних вод  $n_2 = 0,85$ , для промислових стічних вод  $n_2 = 0,7$ );

$C_p$  - розчинність кисню повітря у воді (набуває  $C_p = 10,7$  мг/л);

$C$  - середня концентрація кисню в аеротенку (приймається  $C = 2$  мг/л).  
Загальна витрата повітря :

$$D_{\text{заг}} = D \cdot Q, \quad (\text{мг}^3/\text{м}^3) \quad (2.13)$$

Робочу глибину аеротенків приймають від 3 до 6 м, відношення ширини коридору до робочої глибини аеротенків набуває 1:1 або 2:1.

Для аеротенків і регенераторів кількість секцій повинна бути не менше двох. Для системи з очищення стічних вод в обсязі до 50 000 м<sup>3</sup>/добу кількість секцій призначається від 4 до 6. При більшій продуктивності - від 8 до 10 секцій. Кожна секція складається з 2 до 4 коридорів.

У практиці проектування і будівництва аеротенків використовують типові проекти інженерного устаткування:

У практиці проектування і будівництва аеротенків використовують типові проекти інженерного устаткування:

- робоча глибина типових аеротенків 3,2; 4,4; 5 м.
- ширина коридорів 4,5; 6; 9 м.
- довжина коридорів від 36 до 114 м з кроком у 6 м.
- число коридорів у секціях 2; 3; 4.

**Приклад 2.1** Розрахувати аеротенк при наступних вихідних даних: витрата побутових стічних вод дорівнює 50 000 м<sup>3</sup>/добу; БПК<sub>повн</sub> стічної води, що надходить до системи очищення,  $L_a = 145$  мг/л; БПК<sub>повн</sub> очищеної стічної води  $L_t = 15$  мг/л; середньорічна температура стічної води  $T = 14$  0С; середня швидкість окислення  $\rho = 20,8$  мг/г·год; концентрація зважених речовин при надходженні у систему  $V = 150$  мг/л.

### Розв'язання

Тривалість аерації стічних вод в аеротенку визначають за формулою (2.1). Оскільки величина  $L_a < 150$  приймаємо дозу мулу  $a = 1,5$  г/л.

$$t = \frac{L_a - L_t}{a \cdot (1 - S_L) \rho} = \frac{145 - 15}{1,5 \cdot (1 - 0,35) \cdot 20,8} = 6,4 \text{ год}$$

Оскільки формула (2.1) справедлива для середньорічної температури стічної води 15°С, вводять виправлення на фактичну температуру, що дорівнює 14°С та уточнюють необхідний час аерації:

$$t = t \cdot \frac{15}{T} = 6,4 \cdot \frac{15}{14} = 6,9 \text{ год.}$$

Робочий обсяг аеротенку визначають за формулою (2.2):

$$V = t \cdot \frac{Q}{24} = 6,9 \cdot \frac{50000}{24} = 14\,375 \text{ м}^3$$

Приймаємо аеротенк з робочою глибиною аеротенку = 3,2 м, кількість секцій = 6; кількість коридорів = 3; ширина коридору - 6 м. Довжину коридору необхідно розрахувати через інші підібрані параметри.

Об'єм одного коридору аеротенку

$$V_{\text{коридор}} = \frac{V}{K_{\text{коридор}}} = \frac{14375}{6 \cdot 3} = 798,6 \text{ м}^3$$

Довжину коридору аеротенку розраховано через його об'єм:

$$V_{\text{коридор}} = \text{Ш} \cdot \text{Д} \cdot \Gamma \rightarrow \text{Д} = \frac{V_{\text{коридор}}}{\text{Ш} \cdot \Gamma} = \frac{798,6}{6 \cdot 3,2} = 41,6 \text{ м}$$

Розрахункову довжину коридору секції аеротенку підібрано згідно типових розмірів з кроком 6. Отже довжина коридору складає 42м.

Приріст мулу в аеротенку розраховано за формулою (2.11):

$$Pr = 0,8 \cdot B + 0,3 \cdot L_a = 0,8 \cdot 150 + 0,3 \cdot 145 = 120 + 43,5 = 163,5 \text{ (мг/л)}$$

Питому витрату повітря розраховано за формулою (2.12):

$$D = \frac{z \cdot (L_a - L_t)}{k_1 \cdot k_2 \cdot n_1 \cdot n_2 (C_p - C)} = \frac{1,1 \cdot (145 - 15)}{1,47 \cdot 2,68 \cdot 1,01 \cdot 0,85 (10,7 - 2)} = 4,8 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

Загальну витрату повітря розраховано за формулою (2.13):

$$D_{\text{заг}} = D \cdot Q = 4,8 \cdot 50\,000 = 240\,000 \text{ мг}^3/\text{м}^3$$

**Висновок:** тривалість аерації при очищенні стічних вод в кількості 50 000 м /добу при  $BPK_{\text{повн}}$  стічної води, що надходить до системи очищення, 145мг/л із середньою швидкістю окислення 20,8 мг/год. відбувається протягом 6,9 год. В таких умовах необхідний об'єм аеротенку 14 375 м<sup>3</sup> з робочою глибиною 3,2 м кількістю секцій - 6, кількість коридорів в кожній секції - 3; ширина кожного коридору 6 м, довжина - 42 м. Приріст мулу в аеротенку 163,5 мг/л; загальна витрата повітря в даному аеротенку складає 240 000 мг /м.

**Приклад 2.2** Розрахувати аеротенк з регенераторами при наступних вихідних даних: витрата промислових стічних вод дорівнює 50 000м /добу;  $BPK_{\text{іовк}}$  очищених стічних вод 15мг/л ;  $BPK_{\text{іовк}}$  стічних вод, що надходять до системи очищення, 155мг/л; середньорічна температура стічних вод 14<sup>0</sup>С ; середня швидкість окислення 20,8 мг/г-год; концентрація зважених речовин 160мг/л.

### Варіанти для розв'язання задач

Варіант	Витрати води	$L_a$ , мг/л;	$L_t$ , мг/л;	T, C	P, мг/ггод	B, мг/л
1	10000	100	7	3,5	20	100
2	12000	102	8	4	21	110
3	13000	103	9	4,5	22	120
4	12500	106	10	5	23	125
5	13500	110	11	5,6	24	130
6	20000	112	12	6	25	135
7	25000	130	13	6,5	26	140
8	26000	135	14	7	20	145
9	30000	136	15	7,5	21	150
10	35000	140	16	8	22	155
11	36000	145	17	8,5	23	158
12	39000	142	18	10	24	159
13	40000	144	19	11	25	160
14	41000	150	20	12	26	165
15	42000	152	21	13	20	170
16	45000	154	22	14	21	175
17	48000	156	22,5	15	22	180
18	49000	180	3	16	23	185
19	51000	200	4	17	24	190
20	51200	220	5	18	25	159
21	52000	250	6	19	26	160
22	56000	300	7,8	20	20	165

### Розв'язання

Для даних аеротенків з регенераторами необхідно окремо підрахувати час і об'єми споруджень. Час для очищення води  $t_a$  розраховують за формулою (2.3), загальний час окислення забруднень  $t_0$  - за формулою (2.4), час перебування мулу в регенераторі для закінчення окисних процесів переробки забруднень  $t_{pez}$  - за формулою (2.5):

$$t_a = \frac{2,5}{a^{0,5}} \cdot \lg \frac{L_a}{L_t} = \frac{2,5}{1,5^{0,5}} \cdot \lg \frac{155}{15} = 2,07 (\text{год})$$

$$t_0 = \frac{L_a - L_t}{\alpha \cdot a_{pez} \cdot (1 - S_L) \rho} = \frac{155 - 15}{0,6 \cdot 4(1 - 0,35) \cdot 20,8} = 4,31 (\text{год})$$

$$t_{pez} = t_0 - t_a = 4,31 - 2,07 = 2,24 (\text{год})$$

Частку витрати циркулюючого мулу від розрахункової витрати стічної води  $a$  у формулі (2.4) розраховано за формулою (2.6) через дози мулу в



аеротенку та регенераторі. Оскільки величина  $L_a < 150$  приймаємо дозу мулу в аеротенку  $a = 1,5$  г/л.

$$\alpha = \frac{a}{a_{рег} - a} = \frac{1,5}{4 - 1,5} = 0,6$$

Обсяги аеротенку  $V_a$  та регенератора  $V_{рег}$  відповідно знаходимо за формулами (2.7), (2.8), загальний об'єм системи з очищення стічної води  $V$  за формулою (2.9)

$$V_a = t_a \cdot (1 + \alpha) \cdot Q = 2,07 \cdot (1 + 0,6) \cdot 50000 = 165600(\text{м}^3)$$

$$V_{рег} = t_{рег} \cdot \alpha \cdot Q = 2,24 \cdot 0,6 \cdot 50000 = 67200(\text{м}^3)$$

$$V = V_a + V_{рег} = 165600 + 67200 = 232800(\text{м}^3)$$

Приріст мулу в аеротенку розраховано за формулою (2.11):

$$PP = 0,8 \cdot B + 0,3 \cdot L_a = 0,8 \cdot 160 + 0,3 \cdot 155 = 174,5(\text{мг} / \text{мг})$$

Питому витрату повітря розраховано за формулою (2.12), а загальну витрату повітря - за формулою (2.13):

$$D = \frac{z \cdot (L_a - L_t)}{k_1 \cdot k_2 \cdot n_1 \cdot n_2 (C_p - C)} = \frac{1,1(155 - 15)}{1,47 \cdot 2,68 \cdot 1,02 \cdot 0,7 \cdot (10,7 - 2)} = 6,68(\text{м}^3 / \text{м}^3)$$

$$D_{заг} = D \cdot Q = 6,68 \cdot 50000 = 334000(\text{м}^3 / \text{м}^3)$$

Ступінь регенерації активного мулу розраховано за формулою (2.10) через об'єми споруд:

$$P_{рег} = \frac{V_a}{V} \cdot 100 = \frac{165600}{232800} \cdot 100 = 71,1, \%$$

Підбираємо робочі параметри аеротенку. Приймаємо, що аеротенк має кількість секцій 6, кількість коридорів 4, тоді об'єм коридору дорівнюватиме:

$$V_{коридору} = \frac{V}{24} = \frac{165600}{24} = 6900(\text{м}^3)$$

Приймаємо глибину коридору 4,4м, ширину - 6м. тоді довжину коридору аеротенку необхідно розрахувати через його об'єм:

$$V_{коридор} = Ш \cdot Д \cdot Г \rightarrow Д = \frac{V_{коридор}}{Ш \cdot Г} = \frac{6900}{6 \cdot 4,4} = 261,4\text{м}$$



Отримана довжина коридору аеротенку є зовеликою у порівнянні з типовим устаткуванням, тому змінюємо попередньо обрані параметри аеротенку.

Приймаємо максимальну глибину та ширину коридору 5 м і 9 м відповідно. Виконаємо уточнюючий розрахунок:

$$D = \frac{V_{\text{коридор}}}{Ш \cdot Г} = \frac{6900}{9 \cdot 5} = 153 \text{ м}$$

Навіть при максимальних параметрах довжина аеротенку не відповідає типовим умовам.

Приймаємо аеротенк з більшою кількістю секцій - 8 шт., інші розміри без змін: кількість коридорів 4, глибина коридору 5 м, ширина - 9 м. Виконаємо уточнюючий розрахунок довжини коридору аеротенку:

$$V_{\text{коридору}} = \frac{V}{8 \cdot 4} = \frac{165600}{32} = 5175 (\text{м}^3)$$

$$D = \frac{V_{\text{коридор}}}{Ш \cdot Г} = \frac{5175}{9 \cdot 5} = 115 \text{ м}$$

Розрахункову довжину коридору секції аеротенку підбрано згідно розмірів, що відповідають типовим. Приймаємо довжину коридору секції аеротенку 114 м.

**Висновок:** розрахований час на очищення стічних вод в кількості 50 000 м<sup>3</sup>/добу при БПК<sub>повн</sub> стічної води, що надходить до системи очищення, 155 мг/л із середньою швидкістю окислення 20,8 мг/г·год складає 4,31 год., з них тривалість аерації складає 2,07 год., регенерації - 2,24 год. Для таких умов необхідний загальний об'єм споруди – 232,8 тис. м<sup>3</sup>, аеротенку – 165,6 тис. м<sup>3</sup>, регенератора – 67,2 тис. м<sup>3</sup>. Приріст мулу в аеротенку 174,5 мг/л; загальна витрата повітря в даному аеротенку складає 334 000 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>. Ступінь регенерації активного мулу 71,1%. Розраховані робочі параметри аеротенку: кількістю секцій – 8, кількість коридорів в кожній секції – 4; глибина коридору 5 м, ширина – 9 м, довжина – 114.

## Лабораторна робота 7

### Манометричний метод визначення впливу шкідливих речовин, що містяться у стічних водах та їх біологічна очистка

Метод оснований на манометричному визначенні змін ходу біохімічного споживання кисню за додавання досліджуваної речовини і штучного стоку, що імітує фекальні води.

Основним приладом є склянка (колба) із шліфом ємністю 50 мл, яку герметично закривають гумовою пробкою, через яку проходить бактеріологічна піпетка на 2 мл з поділками. Край піпетки розташований безпосередньо біля дна склянки. У результаті надлишкового тиску рівень досліджуваного

середовища піднімається у піпетці, за яким по шкалі відраховують потребу у кисні. Безпосередньо під пробкою скріплений манжет із фільтрувальним папером (близько 0,5 м ширини), насиченим лугом. Під манжетом на піпетці наносять тонке коло рамсеєвського жиру для шліфів, що попереджує стікання луку у середовище. Під час виконання досліду склянки мають бути герметично закриті. Їх ставлять у ванни з водою певної температури і поміщають у термостат.

Кількість спожитого кисню у досліді визначають зміною об'ємів і тиску повітря, що є над субстратом і над розчином солі, якщо у всіх склянках витримано такі вимоги: рівний барометричний тиск, температура і пружність водяних парів, повне поглинання  $\text{CO}_2$  лугом на манжеті.

**Мета роботи:** визначення впливу шкідливих речовин, що містяться у стічних водах та їх біологічна очистка.

**Матеріали і обладнання:** штучно створені стічні води.

### **Хід роботи:**

Попередньо приготовлені суміші ввести піпеткою по 10 мл у склянки, які залишають відкритими на дві години. За цей період мікрофлора адаптується до нових умов, а також закінчуються можливі хімічні реакції між поживним середовищем і досліджуваною речовиною, які в подальшому не зможуть спотворювати хід біохімічних реакцій. Перед закриттям склянок пробками необхідно зволожити манжет із фільтрувального паперу на піпетки двома краплями дистильованої води і однією краплею 30% розчину гідроксиду натрію. Після їх закриття у склянки ввести піпеткою за допомогою гумової груші трохи повітря. При цьому у них створюється дещо підвищений тиск, в результаті чого субстрат піднімається в піпетці до певного рівня, від якого в подальшому беруть відлік виміру. Далі склянки встановити на водяній бані, яку переносять у термостат з температурою 25 °С. Через півгодини відмітити положення рівня в піпетках, який приймають за вихідний. Час досліду відраховувати з моменту першого відліку. В перші години досліду відраховувати зміни тиску в часовому інтервалі; подальші інтервали збільшити відповідно до задачі експерименту.

За результатами досліду побудувати графіки на напівлогарифмічному папері. На логарифмічну шкалу нанести час в годинах, на лінійну шкалу – споживання кисню в мг/л. Експериментально було підтверджено, що першу фазу біохімічного споживання кисню можна зобразити прямою, що перетинає логарифмічну шкалу в точці  $i_0$  (дані, отримані на початку досліду за 0,5 год не беруться до уваги). Величина  $1;_0$  вважається найважливішою для характеристики протікання процесу, так само як і величина  $a$ , яка свідчить про споживання кисню за 24 год після закінчення часу розбігу (за час  $1;_0 + 24$  год.).

2. При дослідженні токсичності з практичною метою небажано контролювати споживання кисню кожну годину, вказану пряму будують із двох точок, причому перші із них – за величини споживання кисню 30 мг/л. Вважають, що пристосування інокулята в цей час уже закінчено. Другу точку

отримують за величини споживання кисню, яку буде досягнуто через 24 год після часу встановлення величини 30 мг O<sub>2</sub>/л. Через точки 1 і 2 в напівлогарифмічних координатах проводять пряму, яка перетинає вісь часу в точці 10. Величину відраховують на цій прямій для часу Ю + 24. Для більш точного визначення обох точок відліку провести в період після споживання 30 мг/л кисню і через 24 год, 2-3 рази в інтервалі 30 хв.

## Лабораторна робота 8

### Метантенки – споруди для біологічного знешкодження осадів стічних вод

Процес очищення протікає більш стійко і повно, коли ведуть спільне очищення виробничих і побутових стічних вод, оскільки побутові води містять біогенні елементи, а також розбавляють виробничі стічні води. Побутові стічні води надходять в усереднювач, а потім у відстійник. Після освітлення воду направляють у змішувач, де змішують з виробничою стічною водою, що надходить з відстійника. Далі суміш побутових і промислових вод надходить в аеротенк. Після відділення активного мулу у вторинному відстійнику, стічні води знешкоджують хлором, потім скидають у водойму чи направляють для використання у виробництві. Осад з відстійників надходить у метантенки. Виділений у процесі бродіння газ з метантенків направляють на спалювання в котельню. Осад бродіння знешкоджують і переробляють у добриво.

**Мета роботи:** виконання розрахунків очисних споруд знешкодження осадів стічних вод – метантенків.

#### Завдання:

1. Опрацювати теоретичні аспекти відносно розрахунків очисних споруд – полів фільтрації, зрошення.
2. Ознайомитися з методологією розрахунків та СНіП за наведеними формулами.
3. Розв'язати задачі за наведеним прикладом.
4. Самостійно розв'язати задачі за вказаним варіантом.
5. Навести порівняльну характеристику отриманих результатів досліджень з загальноприйнятими.

Розрахунок метантенків полягає в підрахунку кількості осаду, що утворюється на станції очищення стічних вод, обґрунтованому виборі режиму зброджування, визначенні необхідного обсягу споруджень і ступеня розпаду беззольної речовини осаду.

Кількість сухої речовини осаду  $O_{сyx}$  і активного мулу  $M_{сyx}$  в т/добу, розраховують за наступними формулами:

$$O_{сyx} = \frac{C \cdot E \cdot K}{10^3 \cdot 10^3} \cdot Q, \quad (1.1)$$

$$M_{сyx} = \frac{0,8 \cdot C \cdot (1 - E) + 0,3 \cdot L_a - b}{10^3 \cdot 10^3} \cdot Q, \quad (1.2)$$

де  $C$  – концентрація зважених речовин у воді, що надходить на первинні відстійники, мг/л;

$E$  – ефективність затримки зважених речовин у первинних відстійниках, у частках одиниці;

$K$  – коефіцієнт, що враховує збільшення обсягу осаду за рахунок великих фракцій зважених речовин, що не уловлюються не при доборі проб для аналізу ( $K=1,1 \div 1,2$ );

$La$  – БПК<sub>повн</sub> (біологічна потреба кисню) стічної води, що надходить до аеротенку, мг/л;

$b$  – винос активного мулу з вторинних відстійників, мг/л;

$Q$  – середня витрата стічних вод, м<sup>3</sup>/добу.

Кількість беззольної речовини осаду  $O_{\text{без}}$  і активного мулу  $M_{\text{без}}$  обчислюють у т/добу за формулами:

$$O_{\text{без}} = \frac{O_{\text{сух}} \cdot (100 - B^0) \cdot (100 - Z_0)}{100 \cdot 100}, \quad (1.3)$$

$$M_{\text{без}} = \frac{M_{\text{сух}} \cdot (100 - B^M) \cdot (100 - Z_M)}{100 \cdot 100}, \quad (1.4)$$

де  $B^0$ ;  $B^M$  – гігроскопічна вологість відповідно сирого осаду й активного мулу, приймається рівною 5%;

$Z_0$ ;  $Z_M$  – зольність сухої речовини осаду і мулу відповідно, зольність осаду приймається 30%, зольність активного мулу – 25%.

Витрата сирого осаду і надлишкового активного мулу розраховується в м<sup>3</sup>/добу за формулами:

$$V_0 = \frac{100 \cdot O_{\text{сух}}}{(100 - W_0) \cdot \rho_0}, \quad (1.5)$$

$$V_M = \frac{100 \cdot M_{\text{сух}}}{(100 - W_M) \cdot \rho_M}, \quad (1.6)$$

де  $W_0$ ;  $W_M$  – вологість сирого осаду та надлишкового активного мулу відповідно,%. При видаленні осаду з відстійників насосами його вологість можна прийняти рівною 94%, вологість ущільненого активного мулу – 97%.

$\rho_0$ ;  $\rho_M$  – щільність відповідно осаду й активного мулу. При вологості сирого осаду та надлишкового активного мулу близькій до 100% щільність осаду й активного мулу можна вважати рівною 1т/м<sup>3</sup>.

Загальна витрата осадів на станції очищення стічних вод:

$$\text{за сухою речовиною} \quad M_{\text{сух}}^1 = O_{\text{сух}} + M_{\text{сух}} \quad (1.7)$$

$$\text{за беззольною речовиною} \quad M_{\text{без}}^1 = O_{\text{без}} + M_{\text{без}} \quad (1.8)$$

$$\text{за обсягом суміші фактичної вологості} \quad M_{\text{заг}} = V_0 + V_M \quad (1.9)$$

Середні значення вологості суміші і зольності у % розраховують за формулами:

$$B_c = 100 \cdot \left( 1 - \frac{M'_{\text{сyx}}}{M_{\text{зас}}} \right), \quad (1.10)$$

$$z = 100 \cdot \left( 1 - \frac{M'_{\text{без}} \cdot 100}{O_{\text{сyx}} \cdot (100 - B^O) + M_{\text{сyx}} \cdot (100 - B^M)} \right). \quad (1.11)$$

Знаючи фактичну вологість суміші, можна підрахувати необхідний об'єм метантенка у м<sup>3</sup> згідно формули (1.12):

$$V = \frac{M_{\text{зас}} \cdot 100}{D}, \quad (1.12)$$

де  $D$  – добова доза завантаження осаду в метантенк у %, прийнята за СНП 2.04.03-85 у залежності від обраного режиму зброджування.

**Приклад 1.1** Виконати розрахунок метантенків для станції повного біологічного очищення продуктивністю 50 000 м<sup>3</sup>/добу, якщо у воді, що надходить на станцію концентрація зважених речовин 200 мг/л, БПК<sub>повн</sub> - 180 мг/л, ефективність освітлення в первинних відстійниках - 50%. Видалення осаду з відстійників відбувається насосами. Винос активного мулу з вторинних відстійників  $b=15$  мг/л.

#### Розв'язання

За формулами (1.1) - (1.2) необхідно визначити витрати осаду і мулу за сухою речовиною:

$$O_{\text{сyx}} = \frac{C \cdot E \cdot K}{10^3 \cdot 10^3} \cdot Q = \frac{200 \cdot 0,5 \cdot 1,1}{10^6} \cdot 50\,000 = 5,5 \text{ т/добу}$$

$$M_{\text{сyx}} = \frac{0,8 \cdot C \cdot (1 - E) + 0,3 \cdot L_a - b}{10^3 \cdot 10^3} \cdot Q = \frac{0,8 \cdot 200 \cdot (1 - 0,5) + 0,3 \cdot 180 - 15}{10^6} \cdot 50\,000 = 5,95 \text{ т/добу}$$

За формулами (1.3) - (1.4) визначають витрати осаду і мулу за беззольною речовиною:

$$O_{\text{без}} = \frac{O_{\text{сyx}} \cdot (100 - B^O) \cdot (100 - z_O)}{100 \cdot 100} = \frac{5,5 \cdot (100 - 5) \cdot (100 - 30)}{10^4} = 3,66 \text{ т/добу}$$

$$M_{\text{без}} = \frac{M_{\text{сyx}} \cdot (100 - B^M) \cdot (100 - z_M)}{100 \cdot 100} = \frac{5,95 \cdot (100 - 5) \cdot (100 - 25)}{10^4} = 4,24 \text{ т/добу}$$

Витрата сирого осаду і надлишкового активного мулу розраховується за формулами (1.5) - (1.6):

$$V_o = \frac{100 \cdot O_{\text{сyx}}}{(100 - W_o) \cdot \rho_o} = \frac{100 \cdot 5,5}{(100 - 94) \cdot 1} = 91,7 \text{ м}^3/\text{добу}$$

$$V_M = \frac{100 \cdot M_{\text{сyx}}}{(100 - W_M) \cdot \rho_M} = \frac{100 \cdot 5,95}{(100 - 97) \cdot 1} = 198,3 \text{ м}^3/\text{добу}$$

За формулами (1.7) - (1.9) визначено сумарні витрати осаду і мулу:

$$M_{\text{сyx}}^I = O_{\text{сyx}} + M_{\text{сyx}} = 5,5 + 5,95 = 11,45 \text{ т/добу}$$

$$M_{\text{б\text{e}z}}^I = O_{\text{б\text{e}z}} + M_{\text{б\text{e}z}} = 3,66 + 4,24 = 7,9 \text{ т/добу}$$

$$M_{\text{з\text{a}z}} = V_o + V_M = 91,7 + 198,3 = 290,0 \text{ м}^3/\text{добу}$$

За формулами (1.10) - (1.11) визначено середні значення вологості і зольності:

$$B_e = 100 \cdot \left( 1 - \frac{M_{\text{сyx}}^I}{M_{\text{з\text{a}z}}} \right) = 100 \cdot \left( 1 - \frac{11,45}{290} \right) = 96\%$$

$$z = 100 \cdot \left( 1 - \frac{M_{\text{б\text{e}z}}^I \cdot 100}{O_{\text{сyx}} \cdot (100 - B^o) + M_{\text{сyx}} \cdot (100 - B^M)} \right) = 100 \cdot \left( 1 - \frac{7,9 \cdot 100}{5,5 \cdot (100 - 5) + 5,95 \cdot (100 - 5)} \right) = 27,4\%$$

При вологості вихідної суміші 96% доза завантаження для мезофільного режиму складе 10% (за СНП 2.04.03-85), тоді необхідний обсяг метантенку

$$V = \frac{M_{\text{з\text{a}z}} \cdot 100}{D} = \frac{290 \cdot 100}{10} = 2900 \text{ м}^3.$$

#### Варіанти для розв'язання задач

Варіант	Продуктивність, (тис.) м <sup>3</sup> /доб	БПК <sub>пов</sub> , мг/л	Завислі речовини, мг/л	Ефективність очищення, %
1	30	120	10	30
2	20	125	11	35
3	21	135	12	36
4	23	130	13	37
5	22	136	14	38
6	24	136	15	39
7	25	137	16	40
8	26	138	17	41
9	27	139	18	42
10	28	140	19	43
11	29	141	20	45
12	30	142	21	44
13	31	143	22	46
14	32	144	23	47
15	33	145	24	48

**Висновок:** витрати осаду і мулу за сухою речовиною складають відповідно 5,5 т/добу та 5,95 т/добу; витрати осаду і мулу за беззольною речовиною – 3,66 т/добу та 4,24 т/добу відповідно; витрати сирого осаду і надлишкового активного мулу – 91,7 м/добу та 198,3 м/добу відповідно; сумарні витрати осаду і мулу – 11,45 т/добу та 7,9 т/добу відповідно; необхідний обсяг метантенку 2,9 тис м<sup>3</sup>.

### Лабораторна робота 9 Розрахунок мулоущільнювачів

*Теплова обробка* – один зі способів – нагрівання осаду в автоклавах до 170-200°C протягом 1 год. За цей час руйнується колоїдна структура осаду, частина його переходить у розчин, а інша частина добре ущільнюється і фільтрується. Ступінь розпаду органічної речовини залежить від виду осаду і температури.

**Мета роботи:** виконання розрахунків очисних споруд призначених для видалення надлишкової вологи та ущільнення мулу - мулоущільнювачі.

#### Завдання:

1. Опрацювати теоретичні аспекти відносно розрахунків очисних споруд - полів фільтрації, зрошення.
2. Ознайомитися з методологією розрахунків та СНП за наведеними формулами.
3. Розв'язати задачі за наведеним прикладом.
4. Навести порівняльну характеристику отриманих результатів досліджень з загальноприйнятими.

Розрахунок мулоущільнювача виконують на максимальний часовий приплив надлишкового активного мулу за формулою (2.1). При розрахунку мулоущільнювача концентрація надлишкового активного мулу, тривалість відстоювання, швидкість руху рідини в зоні відстоювання приймаються за СНП 2.04.03- 85.

$$q_{\max} = \frac{P_{\max} \cdot Q}{24 \cdot C}, \text{ м}^3/\text{год.} \quad (2.1)$$

де  $Q_{\max}$  – розрахункова витрата стічних вод, м<sup>3</sup>/добу;

$C$  – концентрація активного мулу, що ущільнюється, г/м<sup>3</sup>;

$P_{\max}$  – вміст надлишкового активного мулу, г/м<sup>3</sup>, що розраховується за формулою (2.2)

$$P_{\max} = K_m \cdot P \quad (2.2)$$

де  $P$  – приріст мулу, береться у залежності від ступеня очищення стічної води;

$K_m$  – коефіцієнт місячної нерівномірності приросту мулу, дорівнює 1,15÷1,2.

Висоту проточної частини мулоущільнювача розраховують за формулою

$$h = 3,6 \cdot v \cdot t, \text{ м} \quad (2.3)$$

де  $v$  – швидкість руху рідини, за СНП 2.04.03-85  $v \approx 0,07$  м/год;



$t$  – тривалість ущільнення, зі СНП 2.04.03-85 доцільно приймати рівним 10 годин.

Корисну площу поперечного перетину *вертикального мулоущільнювача* розраховують за формулами (2.4) - (2.5):

$$F_{кор}^e = \frac{q_p}{3,6 \cdot v}, \quad (2.4)$$

де  $q_p$  – максимальна кількість рідини, м<sup>3</sup>/год., що відокремлюється в процесі ущільнення мулу;

$$q_p = q_{max} \frac{W_1 - W_2}{100 - W_2}, \quad (2.5)$$

де  $W_1$  – вологість мулу, що надходить, %;  
 $W_2$  – вологість ущільненого мулу, %.

Площа поперечного перетину центральної труби:

$$f_{тр} = \frac{q_{max}}{3600 \cdot v_{тр}}, \quad (2.6)$$

де  $v_{тр}$  – швидкість руху рідини у вертикальній трубі, що дорівнює 0,1 м/с.

Загальну площу мулоущільнювача розраховують за формулою (2.7), а діаметр одного мулоущільнювача - за формулою (2.8):

$$F = F_{кор} + f_{тр}, \text{ М}^2 \quad (2.7)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot n}}, \text{ М} \quad (2.8)$$

де  $n$  – число мулоущільнювачів. Мінімальне число мулоущільнювачів приймають  $n=2$  згідно СНП 2.04.03-85.

Обсяг мулової частини мулоущільнювача встановлюють з урахуванням вологості ущільненого мулу та того, що надходить до мулоущільнювача, за формулою (2.9):

$$V_m = q_{max} \frac{100 - W_1}{100 - W_2} \cdot \frac{t_m}{n}, \quad (2.9)$$

де  $t_m$  – тривалість перебування мулу в муловій частини при вивантаженні його один раз у зміну, приймається рівною 8 год.

Якщо, відповідно до розрахунків, необхідне застосування більше чотирьох вертикальних мулоущільнювачів діаметром  $D=9$  м, то більш доцільним є застосування мулоущільнювачів радіального типу.

Корисну площу поперечного перетину *радіального мулоущільнювача* розраховують за формулою (2.10):

$$F_{кор}^p = \frac{q_{max}}{q_0}, \text{ М} \quad (2.10)$$

де  $q_0$  – розрахункове навантаження на площу дзеркала ущільнювача, м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup> год, приймається в залежності від концентрації активного мулу, що надходить на ущільнення: при  $C = 2 \div 3$  г/л  $q_0=0,5$ , а при  $C = 5 \div 8$  г/л  $q_0=0,3$ .

Діаметр мулоущільнювача визначають за формулою (2.8), а висоту робочої зони мулоущільнювача - за формулою (2.11):



$$H = g_0 \cdot t, \quad (2.11)$$

де  $t$  – тривалість ущільнення, приймається рівною: при  $C = 2 \div 3$  г/л  $t = 5 \div 8$  год; при  $C = 5 \div 7$  г/л  $t = 10$  год.

Загальну висота мулоущільнювача визначають за формулою (2.12):

$$H_{\text{заг}} = H + h + h_6, \quad (2.12)$$

де  $H$  – висота робочої зони, м;

$h$  – висота зони залягання мулу, дорівнює  $0,3 \div 0,7$  м;

$h_6$  – висота бортів над рівнем води, дорівнює  $\sim 0,1$  м.

**Приклад 2.1** Розрахункова витрата очисних споруджень повного біологічного очищення  $Q = 2\,000$  м<sup>3</sup>/добу; очищена вода має БПК<sub>20</sub> = 20 мг/л. Вологість вихідного мулу  $W_1 = 99,2\%$ , ущільненого  $W_2 = 98\%$ . Розрахувати мулоущільнювачі для ущільнення надлишкового активного мулу.

#### Розв'язання

Для умов, зазначених в умовах задачі приріст активного мулу буде складати  $P = 200$  г/м, тоді вміст надлишкового активного мулу:

$$P_{\text{max}} = K_m \cdot P = 1,2 \cdot 200 = 240 \text{ г/м}^3$$

Максимальний приплив надлишкового активного мулу:

$$q_{\text{max}} = \frac{P_{\text{max}} \cdot Q}{24 \cdot C} = \frac{240 \cdot 2000}{24 \cdot 2000} = 10 \text{ м}^3/\text{ГОД.}$$

Припускаємо, що будуть застосовані два мулоущільнювача вертикального типу. Висота проточної частини

$$h = 3,6 \cdot v \cdot t = 3,6 \cdot 0,07 \cdot 10 = 2,52 \text{ м.}$$

Максимальна кількість рідини, що відокремлюється при ущільненні мулу:

$$q_p = q_{\text{max}} \frac{W_1 - W_2}{100 - W_2} = 10 \cdot \frac{99,2 - 98,0}{100 - 98} = 6 \text{ м}^3/\text{ГОД}$$

Корисна площа мулоущільнювача

$$F_{\text{кор}}^e = \frac{q_p}{3,6 \cdot v} = \frac{6}{3,6 \cdot 0,07} = 23,81 \text{ м}^2$$

Площа поперечного перетину центральної труби:

$$f_{\text{тр}} = \frac{q_{\text{max}}}{3600 \cdot v_{\text{max}}} = \frac{10}{3600 \cdot 0,1} = 0,0277 \approx 0,03 \text{ м}^2$$

Загальна площа мулоущільнювача:

$$F = F_{\text{кор}} + f_{\text{тр}} = 23,81 + 0,03 = 23,84 \text{ м}^2.$$

Діаметр одного мулоущільнювача:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot n}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 23,84}{3,14 \cdot 2}} = 3,9 \text{ м.}$$

Приймаємо до встановлення два мулоущільнювача. Обсяг мулової частини мулоущільнювача становить:

$$V_m = q_{\text{max}} \frac{100 - W_1}{100 - W_2} \cdot \frac{t_m}{n} = 10 \cdot \frac{100 - 99,2}{100 - 98} \cdot \frac{8}{2} = 16 \text{ м}^3$$

**Висновок:** в результаті розрахунків згідно зазначених умов прийнято до встановлення два мулоущільнювача з корисною та загальною площею кожного мулоущільнювача 23,81 м<sup>2</sup> та 23,84 м<sup>2</sup> відповідно; розраховано висоту проточної частини та діаметр кожного мулоущільнювача, що складають 2,52 м та 3,9 м відповідно; обсяг мулової частини мулоущільнювача становить 16 м<sup>3</sup>.

#### Варіанти для розв'язання задач

Варіант	Продуктивність, (тис.) м <sup>3</sup> /доб	БПКпов, мг/л	Вологість вихідного мулу,%	Вологість ущільненого мулу,%
1	30	120	10	30
2	20	125	11	35
3	21	135	12	36
4	23	130	13	37
5	22	136	14	38
6	24	136	15	39
7	25	137	16	40
8	26	138	17	41
9	27	139	18	42
10	28	140	19	43
11	29	141	20	45
12	30	142	21	44
13	31	143	22	46
14	32	144	23	47
15	33	145	24	48
16	34	146	10	49
17	35	147	11	50
18	36	148	12	51
19	37	149	13	52
20	38	150	14	53
21	39	155	15	54
22	42	152	16	56

**Приклад 2.2.** Розрахувати параметри радіальних мулоущільнювачів для ущільнення надлишкового активного мулу, якщо розрахункова витрата очисних споруджень повного біологічного очищення  $Q = 2500$  м<sup>3</sup>/добу. Приріст активного мулу  $P = 220$  г/м<sup>3</sup>, концентрація активного мулу 2,5 г/л.

#### Розв'язання

Вміст надлишкового активного мулу

$$P_{max} = K_m \cdot P = 1,2 \cdot 220 = 264 \text{ г/м}^3$$

Максимальний приплив надлишкового активного мулу

$$q_{max} = \frac{P_{max} \cdot Q}{24 \cdot C} = \frac{264 \cdot 2500}{24 \cdot 2500} = 11,0 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Розрахункове навантаження на площу дзеркала ущільнювача тоді корисна площа поперечного перетину радіальних мулоущільнювачів:

$$F_{кор}^P = \frac{q_{max}}{q_0} = \frac{11,0}{0,5} = 22,0 \text{ м}^2$$

Припускаємо, що будуть використані чотири радіальних мулоущільнювача. Діаметр радіального мулоущільнювача визначається так само як і у вертикального мулоущільнювача за формулою (2.8):

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot n}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 22,0}{3,14 \cdot 4}} = 2,65 \text{ м}$$

Приймаємо до встановлення чотири типових радіальних мулоущільнювача діаметром  $D = 2,65$  м.

Необхідна висота робочої зони мулоущільнювача при тривалості ущільнення 8 годин складатиме

$$H = q_0 t = 0,5 \cdot 8 = 4,0 \text{ м}$$

Загальна висота мулоущільнювача

$$H_{\text{заг}} = H + h + h_0 = 4,0 + 0,7 + 0,1 = 4,8 \text{ м.}$$

**Висновок:** розраховано параметри чотирьох радіальних мулоущільнювачів, потрібних для ущільнення надлишкового активного мулу при витраті очисних споруджень повного біологічного очищення  $Q = 2500$  м<sup>3</sup>/добу, до яких належать: корисна площа поперечного перетину кожного з мулоущільнювачів - 22,0 м<sup>2</sup>; діаметр радіального мулоущільнювача - 2,65 м; висота робочої зони мулоущільнювача - 4,0 м; загальна висота мулоущільнювача - 4,8 м.

#### Варіанти для розв'язання задач

Варіант	Продуктивність, (тис.) м <sup>3</sup> /доб	Приріст мулу, г/м <sup>3</sup>	Концентрація мулу, г/л
1	3	120	1,0
2	2	125	1,1
3	2,1	135	1,2
4	2,3	130	1,3
5	2,2	136	1,4
6	2,4		1,5
7	2,5	137	1,6
8	2,6	138	1,7
9	2,7	139	1,8
10	2,8	140	1,9
11	2,9	141	2,0
12	3,0	142	2,1
13	3,1	143	2,2
14	3,2	144	2,3
15	3,3	145	2,4
16	3,4	146	1,0
17	3,5	147	1,1
18	3,6	148	1,2
19	3,7	149	1,3
20	3,8	150	1,4
21	3,9	155	1,5
22	4,2	152	1,6

## Приклади задач для самостійного опрацювання:

### ВАРІАНТ 1

Задача. Визначити повну розрахункову площу полів фільтрації, якщо середньодобова витрата освітлених стічних вод (10 000 м/добу, навантаження стічних вод на поля фільтрації складає 300 м/га/добу, шар зимових опадів  $h_{оп}=70$ мм, ґрунт на території поля – пісок.

### ВАРІАНТ 2

Задача. Визначити, чи забезпечує розрахункова площа полів фільтрації пропуску стічних вод в кількості (10 000 м/добу у період зимового наморожування протягом 35 діб при шарі зимових опадів 80 мм, ґрунт на території поля – супісок.

### ВАРІАНТ 3

Задача. Визначити повну розрахункову площу полів зрошення на яких вирощують городні культури, якщо середньодобова витрата освітлених стічних вод (10 000 м/добу, середньорічна температура повітря  $T=5$  °С, ґрунт на території поля – супісок.

### ВАРІАНТ 4

Задача. Визначити, чи забезпечує розрахункова площа полів зрошення пропуску стічних вод в кількості (10 000 м/добу у період зимового наморожування протягом 35 діб при шарі зимових опадів 80 мм, ґрунт на території поля – пісок.

### ВАРІАНТ 5

Задача. Визначити резервну площу полів фільтрації при повній площі полів фільтрації 35га.

### ВАРІАНТ 6

Задача. Визначити резервну площу полів зрошення на яких вирощують польові культури при повній площі полів зрошення 80 га. Ґрунт на території поля – суглинок, середньорічна температура повітря 10 °С.

### ВАРІАНТ 7

Задача. Розрахувати тривалість аерації в аеротенках, якщо БПК<sub>повн</sub> стічної води, що надходить до аеротенку складає 200 мг/л, а очищеної води – в 10 разів менше.

### ВАРІАНТ 8

Задача. Розрахувати робочий обсяг аеротенку для витрати стічних вод 50000 м/добу, якщо питома швидкість окислення складає 4 мг БПК<sub>повн</sub> на 1 г беззольної речовини, а БПК<sub>повн</sub> стічної та очищеної води складає 170 та 20 мг/л відповідно.

### ВАРІАНТ 9

Задача. Розрахувати загальний час окислення забруднень в аеротенках з регенераторами, якщо БПК<sub>повн</sub> стічної та очищеної води складає 170 та 15 мг/л відповідно.

### ВАРІАНТ 10

Задача. Визначити час для регенерації активного мулу, якщо БПК<sub>повн</sub> стічної та очищеної води складає 180 та 20 мг/л відповідно.

#### ВАРІАНТ 11

Задача. Розрахувати ступінь регенерації активного мулу, якщо БПК<sub>повн</sub> стічної та очищеної води складає 170 та 15 мг/л відповідно.

#### ВАРІАНТ 12

Задача. Визначити об'єм аеротенку з регенератором для очищення 10000 м/добу стічних вод, що мають БПК<sub>повн</sub> до та після очищення 150 та 15 мг/л відповідно.

#### ВАРІАНТ 13

Задача. Визначити повну розрахункову площу полів фільтрації, якщо середньодобова витрата освітлених стічних вод (10 000 м/добу, навантаження стічних вод на поля фільтрації складає 200 м/га/добу, шар зимових опадів  $h_{оп} = 60$  мм, ґрунт на території поля – суглинок.

#### ВАРІАНТ 14

Задача. Визначити, чи забезпечує розрахункова площа полів фільтрації пропуску стічних вод в кількості (15 000 м/добу у період зимового наморожування протягом 45 діб при шарі зимових опадів 80 мм. Ґрунт на території поля – суглинок.

#### ВАРІАНТ 15

Задача. Визначити повну розрахункову площу полів зрошення на яких вирощують польові культури, якщо середньодобова витрата освітлених стічних вод (15 000 м/добу, середньорічна температура повітря  $T = 10$  °С, ґрунт на території поля – супісок.

#### ВАРІАНТ 16

Задача. Визначити, чи забезпечує розрахункова площа полів зрошення пропуску стічних вод в кількості (15 000 м/добу у період зимового наморожування протягом 30 діб при шарі зимових опадів 100 мм, ґрунт на території поля – супісок.

#### ВАРІАНТ 17

Задача. Визначити резервну площу полів фільтрації при повній площі полів фільтрації 50 га.

#### ВАРІАНТ 18

Задача. Визначити резервну площу полів зрошення на яких вирощують городні культури при повній площі полів зрошення 100 га. Ґрунт на території поля – супісок, середньорічна температура повітря 5 °С.

#### ВАРІАНТ 19

Задача. Розрахувати тривалість аерації в аеротенках, якщо БПК<sub>повн</sub> стічної води, що надходить до аеротенку складає 250 мг/л, а очищеної води – в 8 разів менше.

#### ВАРІАНТ 20

Задача. Розрахувати робочий обсяг аеротенку для витрати стічних вод 50000 м/добу, якщо питома швидкість окислення складає 4 мг БПК<sub>повн</sub> на 1г беззольної речовини, а БПК<sub>повн</sub> стічної та очищеної води складає 95 та 20 мг/л відповідно.

### ВАРІАНТ 21

Задача. Розрахувати загальний час окислення забруднень в аеротенках з регенераторами, якщо БПК<sub>повн</sub> стічної та очищеної води складає 180 та 35 мг/л відповідно.

### ВАРІАНТ 22

Задача. Визначити час для регенерації активного мулу, якщо БПК<sub>повн</sub> стічної та очищеної води складає 170 та 15 мг/л відповідно.

### ВАРІАНТ 23

Задача. Розрахувати ступінь регенерації активного мулу, якщо БПК<sub>повн</sub> стічної та очищеної води складає 190 та 25 мг/л відповідно.

### КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що собою являє глобальна екологічна криза?
2. Які очікувані наслідки парникового ефекту?
3. До чого можуть призвести кислотні опади?
4. Зникнення видів і зменшення біологічного різноманіття.
5. До чого призведе криза надвиробництва промислових відходів?
6. Які очікувані прогнози енерго-екологічної кризи?
7. Що таке метантенк?
8. Які відомо шляхи виходу з екологічної кризи?
9. Що розуміють під біологічною очисткою стічних вод у природних умовах? Що таке поля зрошення, поля фільтрації?
10. Вкажіть елемент очисної споруди, що застосовується на комплексних системах локальної очистки побутових і господарських стічних вод.
11. Дати визначення аеротенк. Що таке активний мул? Які є біофільтри?

## РОЗДІЛ 2. ЕКОБІОТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ У ПРОМИСЛОВОСТІ

### ТЕМА 3. БІОГЕОТЕХНОЛОГІЯ МЕТАЛІВ

Людство протягом ряду століть одержувало метали з багатих руд і концентратів. Вони в більшості випадків характеризувалися порівняно простим хімічним складом. Однак існуюча технологія найчастіше не вирішувала і не вирішує такі проблеми, як комплексне і раціональне використання природних ресурсів, охорона навколишнього середовища тощо.

Існуюча технологія не дозволяє також економічно вигідно переробляти складні руди і концентрати. Наприклад, існують родовища золота, олова, міді, цинку, марганцю й інших металів, добування яких з руд за традиційними схемами складне чи неможливе. Очевидним уже є і те, що в недалекому майбутньому кондиційні руди взагалі будуть вироблені, і тоді постане питання про видобуток металів з бідних руд, різних відходів та гірських порід. Тому на сьогодні постало питання про розробку більш досконалих технологічних схем отримання металів з руд, концентратів, гірських порід і розчинів, зокрема гідрометалургійних. Одним з їх різновидів є мікробіологічний спосіб.

На стику біотехнології і хімії виникає біогеотехнологія металів – наука про вилучення металів із руд, концентратів, гірських порід і розчинів під дією мікроорганізмів або їх метаболітів при нормальному тиску і температурі від 5 до 80 °С.

Підземне і купинчасте бактеріально-хімічне вилуговування міді із бідних руд і урану в промислових масштабах здійснюється в багатьох країнах світу. Вже в 80-х роках ХХ століття тільки міді добували сотні тисяч тон в рік. Собівартість такої міді була нижчою (часто в 2-3 рази), ніж вартість міді, що добували традиційним шляхом.

Також існують процеси чанового бактеріально-хімічного способу вилуговування, які застосовують для переробки складних мідних, цинкових, нікелевих, олово- та золотовмісних руд; технології неперервного бактеріально-хімічного способу добування золота і срібла, яка забезпечує вилучення золота і срібла більше 90%.

За допомогою бактерій можливо якісно очищувати різні концентрати від домішок, при чому ці домішки також можливо використовувати. Наприклад із свинцевих концентратів можливо практично повністю вилучити мідь, цинк і кадмій і при цьому концентрація Cu і Zn в розчині може сягати 50 і 100г/л відповідно. За допомогою бактеріально-хімічного способу можливо селективно переводити в розчин із металоколоїдних колективних мідно-цинкових концентратів до 90% цинку, а далі отримані концентрати міді і кадмію при вилученні їх відповідно до 80 і 90%.

До нових тенденцій розвитку біотехнології або біогеотехнології металів належить віднести збагачення гірських порід і руд, наприклад, бокситів (вилуговуванням Si), сульфидування окислених руд, біосорбцію металів із розчинів. Використання бактеріально-хімічних способів дозволяє розширити

сировинні ресурси, забезпечити комплексність використання сировини без утворення складних гірничодобувних комплексів, автоматизувати процеси, підвищити продуктивність праці і культуру виробництва, вирішити багато проблем навколишнього середовища.

Деякі мікроорганізми можуть каталізувати певні окислювально-відновні реакції – окислення Fe і Mn у воді, окислення сірковмісних сполук, окислення-відновлення азотовмісних сполук. Аеробні бактерії можуть виділяти залізо, мідь, сульфати.

Біогеотехнологія – використання геохімічної діяльності мікроорганізмів в гірничодобувній промисловості. Це екстракція і концентрування металів при біологічному очищенні стічних вод підприємств гірничодобувної промисловості та флотаційних процесах: вилуговування бідних і відпрацьованих руд, десульфуровування кам'яного вугілля, окислення піритів і піритвмісних порід.

Своїм корінням біогеотехнологія йде в геологічну мікробіологію. Мікроорганізми брали і беруть активну участь в геологічних процесах. Біологічні властивості різних груп мікроорганізмів та особливості їх життєдіяльності в родовищах корисних копалин становлять наукові основи біогеотехнології.

Біогеотехнологія стихійно зародилася ще в XVI столітті. До нас дійшли відомості про те, що в ті далекі часи в Угорщині для отримання міді купи видобутої руди зрошували водою. Цей нехитрий технологічний прийом виявився прообразом сучасного бактеріально-хімічного методу купчастого вилуговування металів з руд. Звичайно, тоді ще не знали, що використовуваний процес отримання міді за своєю природою є мікробіологічними. Це стало відомо тільки в 1922 р. завдяки роботам німецьких вчених Рудольфа і Хельброннера. Мабуть, 1922 слід вважати офіційною датою народження біогеотехнології. Надалі біогеотехнологія розвивалася нерівно і свого повноліття досягла до початку 80-х років XX століття. До цього часу поряд з бактеріальним вилуговуванням металів сформувалися й інші розділи біогеотехнології – видалення сірки з вугілля, боротьба з метаном у вугільних шахтах, підвищення нафтовіддачі пластів.

*Біогеотехнологія вилуговування металів* – використання головним чином тіонових (окислюють сірку і сірковмісні сполуки) бактерій для вилучення металів з руд, рудних концентратів і гірських порід. При переробці бідних і складних руд тисячі і навіть мільйони тонн цінних металів губляться у вигляді відходів, шлаків, «хвостів». Відбуваються також викиди шкідливих газів в атмосферу. Бактеріально-хімічне вилуговування металів зменшує ці втрати. Основу цього процесу складає окислення містяться в рудах сульфідних мінералів тіоновими бактеріями. Окислюються сульфіди міді, заліза, цинку, олова, кадмію тощо. При цьому метали з нерозчинної сульфідної форми переходять в сульфати, добре розчинні у воді. З сульфатних розчинів метали витягуються шляхом осадження, екстракції, сорбції. Одним з можливих шляхів вилучення металів з розчинів є адсорбція металів клітинами живих



мікроорганізмів, так звана біосорбція металів. Метали включаються до складу специфічних білків – металотіонеїнів. Корисними для біогеотехнології видобутку металів властивостями володіє цілий ряд мікроорганізмів. Але основним з них, безумовно, є відкритий в 1947 р. Колмером і Кінкелем вид тіонових бактерій, названий *Thiobacillus ferrooxidans*. Необхідну для росту енергію ці бактерії отримують при окислюванні відновлених сполук сірки і двовалентного заліза в присутності вільного кисню. Вони окислюють практично всі відомі в даний час сульфіди металів. Джерелом вуглецю для росту бактерій служить при цьому вуглекислий газ. Характерною особливістю їх фізіології є потреба в дуже кислому середовищі. Вони розвиваються при рН від 1 до 4,8 з оптимумом при 2-3. Інтервал температур, в якому можуть розвиватися бактерії цього виду, становить від 3 до 40 ° С з оптимумом при 28 °С. Тіонові бактерії широко поширені в природі. Вони мешкають у водоймах, ґрунтах, вугільних і золоторудних родовищах. У значних кількостях зустрічаються вони в родовищах сірчаних і сульфідних руд. Але в умовах природного залягання таких руд активність тіонових бактерій стримується відсутністю кисню. При розробці сульфідних родовищ руди вступають в контакт з повітрям, і в них розвиваються мікробіологічні процеси, що призводять до вилуговування металів. Застосовуючи певні біотехнологічні заходи, цей природний процес можна прискорити.

Основною технологічною операцією цього способу є зрошення відвалів видобутої руди розчинами, що містять сірчану кислоту, іони двох- і тривалентного заліза, а також життєздатні клітини тіонових бактерій. Іноді для посилення процесів вилуговування всередину відвалу подають повітря. В таких умовах витравлюють розчин фільтрується через товщу руди і в результаті мікробіологічних і хімічних процесів збагачується видобуваються з руди металами. Потім цей розчин збирають за допомогою системи колекторів, і з нього витягують метали одним з фізико-хімічних методів. Щорічно у світі таким способом видобувають сотні тисяч тонн міді, або приблизно 5% від її загального видобутку. У ряді країн цим способом отримують також значні кількості урану.

*Біогеотехнологія десульфуризації вугілля* – використання тіонових бактерій для видалення сірковмісних сполук з вугілля. Як буре, так і кам'яне вугілля нерідко містять значні кількості сірки. Загальний вміст сірки у вугіллі може досягати 10-12%. При спалюванні вугілля, сірка, яка в ньому міститься, перетворюється на сірчистий газ, який надходить в атмосферу, де з нього утворюється сірчана кислота. З атмосфери сірчана кислота випадає на поверхню землі у вигляді сірчаноокислотних дощів.

За даними, в деяких країнах Західної Європи в рік на 1 га землі з дощами випадає до 300 кг сірчаної кислоти. Неважко собі уявити, яких збитків завдають кислотні дощі здоров'ю людини, її господарській діяльності та навколишньому середовищу. Крім цього, високосірчисте вугілля погано коксуються і тому не може бути використане в кольоровій металургії. Мікробне видалення сірки з

вугілля, на думку фахівців, є економічно вигідним, і з ним пов'язують надії на вирішення проблеми сірчаноокислотних дощів.

Перші вітчизняні дослідження щодо спрямованого видалення сірки з вугілля з використанням мікроорганізмів були виконані в 1959 р. З. М. Зарубіною, Н. Н. Ляліковою і Є. І. Шмуком. В результаті цих дослідів за 30 діб за участі бактерій *Th. ferrooxidans* з вугілля було вилучено 23-30% сірки. Пізніше кілька робіт з мікробіологічної десульфуризації вугілля було опубліковано американськими дослідниками. Їм вдалося за допомогою тіонових бактерій знизити вміст піритної сірки в кам'яному вугіллі за чотири доби майже на 50%.

Цей метод супроводжується попутним вилуговуванням різних металів. Відомо, що в помітних кількостях міститься у вугіллі германій, нікель, берилій, ванадій, золото, мідь, кадмій, свинець, цинк, марганець. Попутне отримання цінних металів при десульфуризації вугілля має дати додатковий економічний ефект.

Роботи з видалення піритної сірки з вугілля мікробіологічними шляхом проводяться зараз у багатьох країнах світу. За останніми повідомленнями в лабораторних умовах вдається знизити вміст сірки у вугіллі шляхом мікробіологічного вилуговування за 5 діб майже на 100%. Мікробіологічний спосіб десульфуризації вугілля розглядається як дуже перспективний.

*Біогеотехнологія і боротьба з метаном у вугільних шахтах* – використання метаноокислюючих бактерій для зниження концентрації метану у вугільних пластах і вироблених просторах.

У пластах кам'яного вугілля міститься величезна кількість метану, що досягає сотні кубометрів на 1 т вугілля. При цьому чим глибше залягає вугілля в надрах землі, тим більше метану він містить. При підземному видобутку вугілля метан з розроблюваних вугільних пластів і утворюються при цьому вироблених просторів надходить в атмосферу шахт. Скупчення цього вибухонебезпечного газу в гірничих виробках створює постійну загрозу для життя шахтарів. Відомі випадки великих вибухів метану у вугільних шахтах України і світу, що забрали сотні людських життів.

Традиційні засоби боротьби з метаном у вугільних шахтах (вентиляція, вакуумна дегазація, зволоження пластів водою) в умовах постійної інтенсифікації гірничих робіт та переходу на все більш глибокі вугленосні горизонти часто вже не можуть забезпечити одночасно високий рівень вуглевидобутку та безпечні умови праці. В основі біогеотехнологічних способів боротьби з метаном лежить процес поглинання цього газу метаноокислюючих бактеріями у вугільних пластах і вироблених просторах. На даному рівні розвитку наук цей процес являє собою єдину можливість руйнування молекули метану при температурах розроблюваних вугленосних товщ.

Ідея про використання метаноокислюючих бактерій для боротьби з метаном у вугільних шахтах належить вітчизняним ученим. У 1939 р А. З. Юровський, Г. П. Капілаш і Б. В. Мангубі запропонували застосовувати ці бактерії для зниження виділення метану з вироблених просторів. Незважаючи на значне поширення метаноокислюючих бактерій в природі, у вугільних пластах і

прилеглих породах вони відсутні. Тому необхідну кількість активних метаноокислюючих бактерій вирощують в ферментерах і у вигляді суспензії в живильному середовищі подають в поровий об'єм вугільних пластів і вироблений простір. Робоча суспензія готується безпосередньо в шахті. У рудничну воду додають задану кількість біомаси метаноокислюючих бактерій і бракуючи для їх активної життєдіяльності мінеральні солі. Зазвичай це мінеральні сполуки азоту і фосфору. У вугільний пласт робоча суспензія нагнітається насосами через свердловини, пробурені по вугіллю або з підземних виробок, або з поверхні землі: 1 т вугілля може прийняти 20-40 л робочої суспензії. У вугіллі мікроорганізми розподіляються по тріщинах і порах.

Таким шляхом здійснюється насичення вугілля метаноокислюючими бактеріями. Але для розвитку цих бактерій необхідний вільний кисень, якого немає у вугільних пластах. Тому в насичений метаноокислюючих бактеріями ділянку вугільного пласта через ті ж свердловини компресором постійно прокачується повітря. В таких умовах бактерії споживають метан, що міститься у вугіллі, і за рахунок цього відбувається зменшення вихідної газоносності вугільного пласта. Мікробіологічні способи боротьби з метаном були неодноразово випробувані у вугільних шахтах. Надходження метану як з вугільних пластів, так і з вироблених просторів в ході цих випробувань було знижено в середньому в 2 рази. За інших рівних умов це дозволяє підвищувати видобуток вугілля приблизно в 1,5 рази.

*Біогеотехнологія і підвищення нафтовіддачі пластів* – використання різних груп мікроорганізмів для збільшення вторинної видобутку нафти.

Нафта, як відомо, в даний час є основною енергетичною і хімічною сировиною. Однак за деякими прогнозами світові запаси нафти можуть бути вичерпані вже протягом найближчих 50 років. Разом з тим існуюча технологія дозволяє витягувати тільки половину нафти, що міститься в родовищах. Це обумовлено міцним зв'язком нафти з породами, що її вміщують. Підвищення нафтовіддачі пластів на 10- 15% було б рівнозначним відкриттю нових родовищ. У зв'язку з цим в даний час помітно зріс інтерес до пошуку шляхів і засобів підвищення вторинної видобутку нафти.

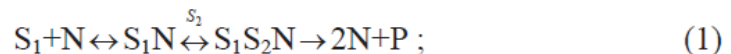
Один із способів припускає використання комплексу вуглецеокислюючих і метаноутворюючих бактерій для збільшення нафтовіддачі пластів. Метод заснований на активації геохімічної діяльності мікробів в нафтовому покладі, до поверхневих вод ці бактерії потрапляють шляхом закачування через свердловини. Активація названих мікробіологічних процесів досягається шляхом аерації закачуваних вод і додавання в них мінеральних солей азоту і фосфору. Недолік цих хімічних елементів найчастіше лімітує активність мікрофлори в природних умовах. Нагнітання у нафтові поклади збагаченої киснем і мінеральними солями води, призводить до утворення аеробної зони навколо нагнітальної свердловини (в нафтоносному пласті). Тут починають інтенсивно проходити процеси руйнування нафти аеробними вуглецеокислюючими мікробами. Ця дія супроводжується накопиченням

вуглекислого газу, водню і низькомолекулярних органічних кислот, які надходять в анаеробну зону нафтової поклади. Метаноутворюючі бактерії перетворюються в метан. Руйнування нафти і утворення газів призводять до розрідження нафти і підвищенню газового тиску в нафтоносному пласті, що й повинно супроводжуватися збільшенням видобутку нафти з видобувних свердловин.

### Лабораторна робота 10 Кінетика ферментативного каталізу

Бактерії *Ralstonia eutropha* використовують в біотехнологічних процесах синтезу полігідроксіалкоаноатів – полімерів, похідних алканових кислот. Такі полімерні матеріали мають багато переваг перед хемосинтетичними аналогами. Серед яких – біосумісність, висока п'єзоелектричність. Окрім того полігідроксіалкоаноати легко розкладаються в природних умовах до продуктів, що залучаються до біотичних кругообігів.

Для ферментативного каталізу найбільш характерні дві принципово різні найпростіші кінетичні схеми, що приводять до дискримінуючих залежностей швидкості процесу від концентрацій двох субстратів. З обліком автокаталітичного процесу мікробного росту ці дві схеми можуть бути представлені в наступному вигляді:



де  $S_1$  і  $S_2$  – концентрації субстратів;  $N$  – «ненасичена» форма клітини;  $X$  – «насичена» форма клітини, здатна до розподілу;  $P$  – продукт.

Механізм (1) включає дві оборотні рівноважні стадії приєднання субстратів (механізм потрійного комплексу). Механізм (2) включає стадії приєднання субстратів, які, принаймні, розділені однією необоротною стадією (пінг-понг-механізм). Для механізму групи (2) характерна наступна залежність від концентрації субстратів.

**Мета роботи:** вивчити кінетичні схеми, навчитися будувати графіки сумарної біомаси в залежності фруктози  $S_1$ , кг/м<sup>3</sup> в субстраті й концентрації хлористого амонію  $S_2$ , кг/м<sup>3</sup>.

**Матеріали і обладнання:** зразки стічних вод комунального призначення, міні-біофільтр, оцтова кислота, етанол.

#### Хід роботи:

1. Вивчити кінетичні схеми (1) та (2).
2. За даними таблиці побудувати графік росту сумарної біомаси в залежності від концентрації фруктози  $S_1$ , кг/м<sup>3</sup> в субстраті й концентрації хлористого амонію  $S_2$ , кг/м<sup>3</sup>.
2. Розрахувати питому швидкість росту сумарної біомаси в експоненціальній фазі за формулою:

$$\mu = \ln\left(\frac{X_k}{X_n}\right) / t$$

де:  $\mu$  – питома швидкість росту біомаси,  $\text{ч}^{-1}$ ;  $X_k, X_n$  – початкова та кінцева концентрація бактерій  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $t$  – час, год

Таблиця 2.1

### Ріст сумарної біомаси в залежності від концентрації фруктози

Концентрація фруктози $S_1, \text{кг}/\text{м}^3$	Відносна швидкість росту сумарної біомаси, $\text{кг}/\text{м}^3\text{ч}$			
	Концентрація азоту $S_2, \text{кг}/\text{м}^3$			
	0,2	0,4	0,6	1,2
1	1,11	4,48	5,47	9,02
2	1,16	7,39	9,02	13,46
4	7,39	9,97	11,02	14,88
8	8,16	11,02	12,18	15,64

3. Опрацювати експериментальні дані та побудувати графік залежності питомої швидкості росту сумарної біомаси бактерій від концентрації субстратів у зворотних координатах на якому вісь абсцис – концентрація азоту в субстраті  $1/X_{\text{аз}}$ , вісь ординат – питома швидкість росту біомаси  $1/\mu$ , ч.

4. Зробити висновок.

## Лабораторна робота 11

### Молочнокисле бродіння та його використання в екобіотехнологіях

Здавна людина використовує діяльність молочнокислих бактерій. Молочнокислі бактерії здійснюють найбільш розповсюджений у природі процес молочнокислого бродіння, який, завдяки консервуючій і стерилізуючій дії, що ґрунтується на підкисленні середовища до значення  $\text{pH} < 5$  широко використовується в сільському та домашньому господарстві, у молочній промисловості. Їх представники мають такі основні властивості:

- утворюють молочну кислоту;
- позитивно фарбуються за Грамом;
- не утворюють спори;
- нерухливі;
- коки чи палички;
- вимогливі до джерела азоту;
- не утворюють каталазу;
- анаероби (мають бродильний тип метаболізму);
- аеротолерантні.

При виготовленні кисломолочних продуктів мають місце процеси, в яких бактерії розщеплюють вуглеводи молока з утворенням молочної кислоти та деяких інших речовин. Молочна кислота денатурує білок казеїн, в результаті чого він випадає в осад. В залежності від виду молочнокислих бактерій, а також від властивостей вихідного матеріалу бродіння, одержують той чи інший продукт з характерним смаком, ароматом та іншими властивостями. При

виробництві сиру тверді згустки, які складаються з білка і жирів, відокремлюють від сироватки і потім інокують різними видами молочнокислих бактерій і (або) мікроскопічними грибами. Деякі знамениті сорти сиру визрівають, набуваючи специфічних смакових властивостей, завдяки життєдіяльності різних видів *Penicillium*.

Молочнокислі бактерії застосовують також для приготування різноманітних маринадів, для сквашування овочів. При цьому рослинна сировина витримується у сольовому розчині, де під впливом спонтанної мікрофлори розпочинається молочнокисле бродіння. Наприклад, у дрібно посіченій, посоленій та добре спресованій капусті бродіння проходить за участю *Leuconostoc* (з утворенням  $\text{CO}_2$ ), а потім *Lactobacillus plantarum*. У розсолі огірків розвивається огіркова паличка *Lactobacillus cucumeris*.

Молочнокислі бактерії, що мешкають на рослинах відіграють основну роль при силосуванні кормів. Вони зброджують цукри рослин до молочної і частково оцтової кислот, знижуючи рН соковитих кормів до 4,2-4,0. Це призводить до пригнічення розвитку гнилісних та інших бактерій, що спричиняють псування кормів. Для силосування сировина повинна мати достатній вміст цукрів, тому інколи додатково додають мелясу. Важливо також створити анаеробні умови шляхом пересування кормів.

Недотримання умов силосування кормів, технології виготовлення та вимог до зберігання кисломолочних продуктів та сквашених овочів сприяє розвитку інших мікроорганізмів та пригніченню молочнокислих бактерій. За таких обставин у складі мікрофлори розсолів тощо можлива присутність дріжджів, дріжджоподібних грибів (*Oidium lactis* – молочна цвіль), гіфальних грибів, пропіоновокислих та оцтовокислих бактерій, бацил, мікрококів та ін. Молочна цвіль окислює молочну кислоту, яку продукують бактерії, до  $\text{CO}_2$  та  $\text{H}_2\text{O}$ . При цьому знижується кислотність, що створює сприятливі умови для розвитку гнилісних бактерій. Показниками якості молочнокислих продуктів є наявність активної мікрофлори та молочної кислоти.

**Мета роботи:** розгляд збудників молочнокислого бродіння, визначення продуктів бродіння.

**Матеріали та обладнання:** склянка, скляна паличка, молоко,  $\text{NaOH}$ , фенолфталеїн, реактив (5% розчин карболової кислоти і 5% розчин хлорного заліза (1:2)), кисле молоко, мікробіологічні петлі, предметні скельця, суміш спирту з ефіром (1:1), метиленовий синій, мікроскопи, імерсійне масло.

#### **Завдання**

1. Визначити кількість утвореної молочної кислоти;
2. Провести якісну реакцію на молочну кислоту;
3. Розглянути під мікроскопом молочнокислі бактерії.

#### **Хід роботи:**

1. *Визначення кількості молочної кислоти.* У хімічну склянку налити 10 мл кисломолочного продукту і відтитрувати його 0,1 н  $\text{NaOH}$  у присутності фенолфталеїну до появи рожевого забарвлення. Визначити процентний вміст

молочної кислоти та кислотність продукту в градусах Тернера ( $^{\circ}\text{T}$ ). Обчислення проводити, враховуючи, що 1 мл 0,1н NaOH відповідає 0,009 г молочної кислоти, а 1 мл 0,1н NaOH, що йде на титрування 100 мл продукту, відповідає  $1^{\circ}\text{T}$ . Оцінити якість кисломолочного продукту (кислотність солодкого молока  $15-18^{\circ}\text{T}$ , кисломолочних продуктів  $65-95^{\circ}\text{T}$ ).

Дослід на молочнокисле бродіння закласти у 2 широких пробірках, в які налити по 10 мл свіжого молока, закрити ватними корками і помістити в термостат при температурі  $30^{\circ}\text{C}$  на 4-5 днів.

На наступному занятті вміст однієї пробірки перелити в колбу на 100 мл (перемішуючи скляною паличкою і поступово ополіскуючи в 20 мл дист. води). Додати 2-3 краплі фенол-фталеїну і титрувати 0,1н розчином NaOH. Визначити градуси Тернера і кількість утвореної молочної кислоти. За різницею (мг) молочної кислоти в молоці до і після досліду розрахувати, яка її кількість утворилась при молочнокислому бродінні.

2. *Якісна реакція на молочну кислоту.* Для виявлення молочної кислоти використати реактив, який складається з суміші 5%-них розчинів карболової кислоти і хлорного заліза (1:2), розведених подвійною кількістю води. Він має аметистово-синій колір. В присутності молочної кислоти це забарвлення переходить в солом'яно-жовте за рахунок утворення молочнокислого заліза. Реакцію проводять у фарфорових чашках, додаючи реактив до кількох крапель сироватки.

3. *Мікроскопування молочнокислих бактерій.* Для вивчення молочнокислих бактерій приготувати мазок з кислого молока. Набрати петлею згусток, розмазати по склі і висушити на повітрі. Мазок зафіксувати сумішню спирту з ефіром (1:1), кілька разів наливаючи її на предметне скло. При такій фіксації мікроорганізми прилипають до скла, а жир розчиняється і вимивається з мазка. Після фіксації препарат зафарбувати метиленовою синькою (протягом 5 хв), розглянути в імерсійній системі і замалювати.



Рис. 3.1. *Streptococcus lactis*. Збільшення 1500X. (Т.Д. Brock, Університет Wisconsin-Madison, США).

## Лабораторна робота 12

### Спиртове бродіння та його використання в екобіотехнологіях

Бродіння – це метаболічний процес, під час якого відбувається регенерування АТФ у реакціях субстратного фосфорилування за анаеробних умов. Залежно від кінцевих продуктів бродіння поділяють на спиртове, молочнокисле, маслянокисле, пропіоновокисле тощо.

Одним із найпоширеніших і достатньо вивчених типів бродіння є спиртове. Спирт – один з найрозповсюдженіших продуктів зброджування вуглеводів мікроорганізмами. Збудники спиртового бродіння широко розповсюджені в природі – особливо у середовищах з високим вмістом вуглеводів.

При спиртовому бродінні в анаеробних умовах з вуглеводів утворюються етиловий спирт і вуглекислий газ:



Спиртове бродіння лежить в основі виноробства, пивоваріння, хлібовипікання і виробництва спирту.

Для одержання спирту використовують різні мікроорганізми: дріжджі, бактерії *Zyomonas mobilis*, *Sarcina ventriculi*, гриб *Aspergillus oryzae*. Однак важливе практичне значення мають тільки дріжджі. В бродильній промисловості використовують дріжджі з класу сумчастих грибів (*Ascomycetes*) родів *Saccharomyces* та *Shizosaccharomyces*. Дріжджі *Sacch. cerevisiae* – одноклітинні, нерухомі, сферичні, еліпсоїдальні, розміром 8-10 мкм. Клітини багаті на включення: краплі жиру, волютин, глікоген, білкові зерна, оптимальне рН для росту – від 3,5 до 6,5. Розмножуються дріжджі переважно вегетативно: брунькуванням, рідше поділом. Дріжджі є аеробними організмами, їх вирощують на заводах кормових дріжджів та на дріжджових заводах при посиленій аерації. В анаеробних умовах для підтримання своєї життєдіяльності дріжджі зброджують вуглеводи за типом спиртового бродіння.

**Мета роботи:** визначення продуктів спиртового бродіння.

**Матеріали та обладнання:** Колби Ерленмейера на 100 мл, корки з газовідвідними клапанами, мірні циліндри, пробірки, предметні та покривні скельця, мікробіологічні петлі, ваги, різноважки, мікроскопи, дріжджі. Реактиви: сахароза, пептон,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ , 1%  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  концентрована.

#### Завдання:

1. Розрахувати кількість утвореного спирту і зброженого цукру.
2. Провести якісну реакцію на етиловий спирт.
3. Розглянути дріжджі під мікроскопом.

#### Хід роботи:

1. Виготовити синтетичне середовище такого складу (г): сахароза – 10; пептон – 1;  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  – 0,1;  $\text{MgSO}_4$  – 0,03; вода дистильована – 300 мл. У колбу Ерленмейера об'ємом 100 мл внести 40 мл середовища (рН 5,5) і близько 1 г пресованих пекарських дріжджів. Колбу закрити гумовою пробкою з



газовивідною трубкою, зважити на вагах з точністю до 0,1 г і помістити в термостат з температурою 30°C на три доби.

2. Кількість вуглекислоти, яка виділяється при бродінні, визначити зважуванням колб перед бродінням і після його закінчення. Знаючи кількість виділеної вуглекислоти, за рівнянням реакції обчислити кількість утвореного спирту і зброженого цукру.

3. Виготовити препарат “роздавлена крапля” з додаванням до краплі культури на предметному склі 1 краплі метиленової синьки. Мертві клітини швидко зафарбовуються у синій колір. Підрахувати кількість живих і мертвих клітин дріжджів у полі зору мікроскопа 40×. Відшукати клітини в стадії брунькування і замалювати їх.

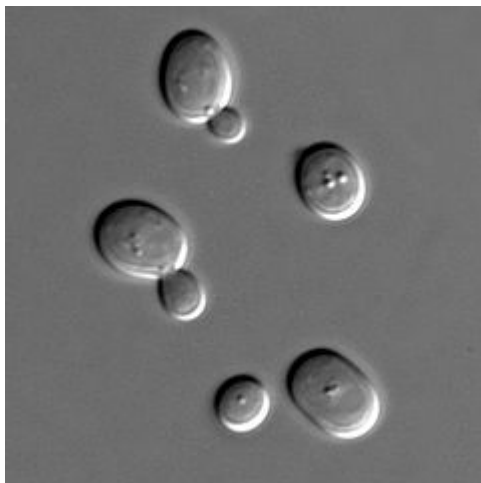
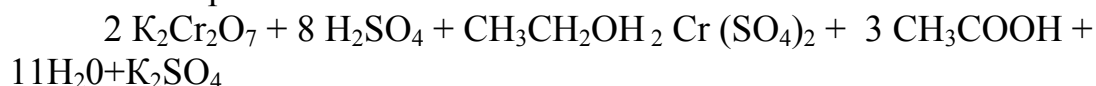


Рис.3.2. Дріжджі *Saccharomyces cerevisiae* в стадії брунькування  
Feldmann, Horst (2010)

4. Якісна реакція на етиловий спирт.

До 1-2 мл бражки додати 1-2 мл концентрованої сірчаної кислоти і по краплях 1%-го розчину біхромату калію, поки оранжеве забарвлення цього реактиву не зміниться на синьо-зелене внаслідок взаємодії біхромату з етанолом за рівнянням:



### Лабораторна робота 13

#### Планування експерименту й побудова моделі на прикладі вирощування мікроорганізмів

Найбільш важливу групу бактерій, що беруть участь у вилугованні сульфідних мінералів, складають ацидофільні тіобацили, що належать до родини *Thiobacteriaceae*. Вони характеризуються хемосинтетичним метаболізмом і здатністю використовувати окислювання неорганічної сірки і її з'єднань для одержання енергії для росту. Тому їх відносять до групи хемолітотрофів. Ця група включає автотрофів, що одержують вуглець для росту тільки з діоксиду вуглецю, міксотрофів, що можуть використовувати вуглець, отриманий як з діоксиду вуглецю, так і з органічних сполук, і гетеротрофів, єдиним джерелом вуглецю для яких є органічний субстрат.

Більшість видів тіобацил є мезофільними бактеріями, для росту яких потрібна температура 30-35 °С. Однак були виділені і види, що краще ростуть при 45-50 °С. Не всі тіобацилли придатні для вилуговування сульфідних мінералів; одні через нездатність рости при низьких значеннях рН, інші – через нездатність використовувати сульфідну сірку. Однак деякі види тіобацилл, не здатні безпосередньо брати участь в окислюванні сірки, можуть брати участь у вилуговуванні мінералів, використовуючи побічні продукти цих реакцій, як органічні, так і неорганічні. Органічні сполуки служать для них джерелом вуглецю, а елементарна сірка і розчинні з'єднання сірки, – джерелом енергії. Найбільш значимими для процесу вилуговування мінералів є *Thiobacillus ferrooxidans*, *T. thiooxidans*, *T. acidophilus*, *T. organoporus*. Найважливіший серед інших видів – *T. Ferrooxidans*. Цей вид здатний використовувати не тільки неорганічні з'єднання сірки, але і залізо (II). Були виділені багато штамів цього мікроорганізму, їх розходження ґрунтувалося на здатності окислювати або елементарну сірку, або сульфідні мінерали. Найбільш важливими з погляду вилуговування є штами, здатні до швидкого окислювання сульфідних мінералів. *T. ferrooxidans* – аеробна, ацидофільна, автотрофна, паличковидна бактерія, що активна в інтервалі значень рН 1,5-5,0; оптимальне значення рН для росту складає 2,0. Оптимальна температура для росту мезофільних штамів складає 35°С. *T. ferrooxidans* має потребу в джерелах азоту, фосфору і слідових кількостях кальцію, магнію і калію. Енергію для росту вона одержує при окислюванні заліза (II), сульфідів, сірки і розчинних з'єднань сірки. *T. ferrooxidans* може бути знайдена в багатьох природних середовищах, але легше всього її присутність може бути виявлена там, де концентруються сульфідні мінерали. *T. thiooxidans* – також ацидофільна, автотрофна, мезофільна бактерія, що росте на елементарній сірці і розчинних з'єднаннях сірки, але нездатна окисляти залізо (II) і нерозчинні сульфідні. Умови для її оптимального росту такі ж, як і для *T. ferrooxidans*, тобто температура 30 - 35°С та рН 2,0.

**Мета роботи:** планування експерименту, статистична обробка експериментальних даних і моделювання процесу гетеротрофного культивування мікроорганізмів.

**Матеріали та обладнання:** музейна культура штаму *R. eutrophus B-5786*, стерильний розчин базового фосфатного буфера для середовища, маточні стерильні розчини мікроелементів, заліза лимоннокислого, сульфату магнію й хлористого амонію, шпателі, спиртівка, мірний посуд, піпетки, колби для вирощування бактерій, гумові пробки з мікробіологічними фільтрами, термокачалка.

Планування експерименту застосовується для вивчення механізмів біотехнологічних процесів, що протікають, і їх оптимізації. Завданням планування є вибір необхідних для експерименту досвідів, методів математичної обробки їхніх результатів і прийняття рішень. Планування експерименту припускає активне втручання в процес і можливість вибору в кожному досвіді тих факторів, які становлять інтерес.

Всі способи впливу на досліджуваний об'єкт позначаються буквою X і називаються факторами. Кожний фактор може приймати в досвіді одне з декількох значень, такі значення називаються рівнями. При плануванні експерименту отримані результати повинні бути відтвореними, а об'єкт управляємо. Загальну схему реалізації експерименту представляють у наступному виді: збір і аналіз даних по культивуванню, вибір факторів (критеріїв оптимізації), постановка експерименту по матриці планування, одержання узагальнюючої залежності, перевірка адекватності моделі й значимості коефіцієнтів, експериментальна перевірка розрахункових параметрів, оптимізація моделі.

У даній роботі як змінний фактор прийняті температура робочої рідини  $X_1$ , концентрація фруктози  $X_2$  і обсяг робітничого середовища  $X_3$ . Вихідним параметром є питома швидкість росту біомаси мікроорганізмів  $Y$  при гетеротрофному культивуванні.

### Хід роботи:

1. Розрахувати кількість необхідних дослідів по формулі:  $N = 2^n$ , де  $n$  – кількість факторів  $X_1, X_2, X_3$ .

2. Побудувати матрицю планування у вигляді таблиці 2.2.

Таблиця 2.2

Експеримент	$X_1$	$X_2$	$X_3$
1	+	+	+
2	-	+	+
3	+	-	+
4	-	-	+
5	+	+	-
6	-	+	-
7	+	-	-
8	-	-	-

3. Прийняти середній (нульовий) рівень і крок варіювання:

температура

$X_1 = 28 \text{ } ^\circ\text{C}$ , крок  $h = 2$ ;

концентрація фруктози

$X_2 = 8 \text{ г/л}$ , крок  $h = 4$ ;

обсяг середовища в колбі

$X_3 = 80 \text{ мл}$ , крок  $h = 20$ .

4. Відповідно до вимог, представленим у табл. 3.2, провести експеримент:

- розділитися на дві групи;

- кожній групі приготувати живильне середовище з заданим значенням концентрації фруктози (12 г/л і 4 г/л);

### Матриця планування

- у мікробіологічному боксі до 0,5 л середовища в стерильних умовах над спиртівкою додати 2,5 мл стандартного розчину заліза, 1,5 мл розчину мікроелементів, 2 мл розчини сульфату магнію й необхідний обсяг розчину хлориду амонію (в 1 мл який утримується 100 мг солі);

- близько 200 мл середовища відкинути;
- що залишилися 300 мл середовища засіяти інокулятом, змивши культуру з одного музейного “косяка” (використовувати шпателі);
- інокулят розлити у ферментаційні колби необхідного обсягу (колби з обсягом робочої рідини по 100 і 60 мл);
- колби щільно закрити пробками;
- колби підписати відповідно до номера експерименту;
- на ФЭК виміряти оптичну щільність (без розведення) кожного інокулята;
- колби встановити на качалку.

5. Після закінчення 15 годин культивування через кожні 30 хв провести виміру оптичної щільності культури, по каліброваній кривій визначити концентрацію біомаси в культурі, розрахувати питому швидкість росту  $Y$ , год<sup>-1</sup>

6. Дані занести в таблицю. 2.3.

Таблиця 2.3

**Матриця планування в розмірних параметрах**

Експеримент	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$Y_i$	$Y_{cp}$

5. Побудувати матрицю планування (табл. 3.4) у безрозмірному виді.

Таблиця 2.4

**Матриця планування в безрозмірному виді**

Експеримент	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$Y_{cp}$
1	+1	+1	+1	+1	
2	+1	-1	+1	+1	
3	+1	+1	-1	+1	
4	+1	-1	-1	+1	
5	+1	+1	+1	-1	
6	+1	-1	+1	-1	
7	+1	+1	-1	-1	
8	+1	-1	-1	-1	

8. Розрахувати коефіцієнти регресії прийнятої моделі:

$$Y = B_0 + B_1x_1 + B_2x_2 + B_3x_3$$

за залежністю

$$B_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i y_i,$$

де  $N$  – число дослідів.

9. Розрахувати порядкові дисперсії паралельних опитів

$$S_i^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (y_i - y_{cp})^2,$$

де  $i$  – рядок матриці;  $m$  – число експериментів у кожному рядку.

10. Перевірити однорідність дисперсії за критерієм Кохрена ( $G_p < G_{табл}$ )

$$G_p = \frac{S_{i_{max}}^2}{\sum_{i=1}^N S_i^2},$$

де  $S_{i_{max}}^2$  – максимальна дисперсія із всіх порядкових.

11. Визначити помилку дослідів:

$$S_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i^2.$$

12. Провести розрахунок дисперсії коефіцієнтів регресії:

$$S_{ki}^2 = \frac{S_y^2}{N}.$$

13. Перевірити значимість коефіцієнтів регресії:

Розрахувати коефіцієнт Ст'юдента

$$t_{ip} = \frac{B_i}{S_{ki}^2},$$

де  $B_i$  – коефіцієнт регресії:

Визначити табличний коефіцієнт Ст'юдента  $t_{st}$  і перевірити умови  $t_{ip} < t_{st}$ .

14. Провести розрахунок адекватності дисперсій:

$$S_{ad}^2 = \frac{m}{N-m} \sum_{i=1}^N (y_{cp} - y^*)^2,$$

де  $y_{cp}$  – середнє значення із всіх повторностей у кожному рядку;  $y^*$  – значення, розраховане по рівнянню регресії.

15. Провести розрахунок адекватності моделі, розрахувати критерій Фішера:

$$F_p = S_{ad}^2 / S_y^2;$$

визначити табличний критерій  $F_{\text{таб}}$  і здійснити їхнє порівняння.

16. Провести аналіз отриманої моделі.

## Лабораторна робота 14

### Визначення чутливості бактерій до антибіотиків

*Природна чутливість* мікроорганізмів до антибіотиків пов'язана з наявністю у їхньому складі мішеней, структур, на які антибіотики справляють пошкоджуючу дію або етапів метаболізму, які вони блокують, а природна стійкість – з відсутністю у мікроорганізмів таких мішеней або їх слабкою спорідненістю до антибіотика. Найчастіше мішенями для дії антибіотиків є клітинна стінка (пептидоглікан), цитоплазматична мембрана або ферменти, локалізовані у ній (пермеази), рибосоми, генетичні структури чи окремі етапи синтезу білка, нуклеїнових кислот, ліпідів.

Зміна мішеней для дії антибіотика призводить до розвитку стійкості мікроорганізмів до антибіотика, яка може поширюватися й на інші антибіотики з аналогічним механізмом дії (перехресна стійкість). *Набута стійкість* до антибіотиків може бути зумовлена синтезом ферментів, які руйнують антибіотики (лактамаза руйнує лактамне кільце пеніцилінів), обмеженням доступу антибіотика до мішені, зниженням метаболічної цінності мішені, винесенням молекул антибіотика з бактеріальної клітини спеціалізованою системою, гіперпродукцією молекул мішені. Набута стійкість може бути пов'язана зі зміною фенотипу або генотипу мікроорганізму. При *фенотиповій стійкості* відбувається підвищення стійкості до антибіотика більшості особин популяції. Стійкість у цьому випадку має адаптивний тимчасовий характер і є результатом репресії-дерепресії генів хромосоми або плазмід. *Генотипова стійкість* виникає внаслідок одно- чи багатоступеневої мутації в хромосомі або R-плазмідах, а також внаслідок передачі шляхом кон'югації, трансдукції, трансформації або транс локації генів стійкості транспозонами R-плазмиди чи ділянки хромосоми, яка відповідає за стійкість.

Перенесення генетичного матеріалу зазвичай зумовлюють появу стійкості до одного-двох антибіотиків, передача R-плазмиди часто супроводжується формуванням стійкості до багатьох антимікробних речовин, появою так званих множинно-стійких штамів. У чутливій до антибіотика популяції спочатку з'являються одиничні стійкі мутанти або рекомбінанти, які на селективному середовищі, яке містить відповідний антибіотик, швидко займають домінуюче положення. Поява стійких до антибіотиків популяцій мікробів може бути зумовлена занесенням у популяцію та селекцією у ній стійких особин з інших популяцій.

Спільний вплив двох або трьох антибіотиків в залежності від механізмів їхньої дії може справити сумарний (адитивний), нижче сумарного (антагоністичний) або вищий від сумарного (синергічний) ефект.

Антибіотики мікробного походження мають широке застосування в медичній практиці. Для вибору антибіотика, необхідного для лікування певного захворювання, використовують метод індикаторних дисків. Принцип методу полягає в тому, що паперові диски, насичені розчинами різних антибіотиків, поміщають на поживне агаризоване середовище, засіяне досліджуваною культурою. Антибіотик на вологій поверхні дифундує в агар і припиняє ріст мікроорганізмів, якщо вони чутливі до нього і навколо диску утворюється “стерильна зона”.

Ступінь чутливості бактерій до антибіотика визначається розміром стерильної зони (чим вона більша, тим чутливіші бактерії до досліджуваного антибіотика).

Для зручності в роботі паперові диски з антибіотиками випускають різнокольоровими або з підписами. Так, індикаторні диски пеніциліну зелені (Пен); стрептоміцину – фіолетові (Стр); левоміцетину – сині (Лев); тетрацикліну – жовті (Тет); неоміцину – темно-фіолетові (Нео); канаміцину – оранжеві (Кан).

**Мета роботи:** визначення впливу антибіотиків на ріст бактерій.

**Матеріали та обладнання:** чашки Петрі, МПА, суспензія бактеріальної культури, стерильна піпетка, стерильний шпатель, індикаторні диски, пінцет, лінійка.

#### Хід роботи:

1. Розплавлене поживне середовище розлити в стерильні чашки Петрі. Кілька крапель суспензії досліджуваної бактеріальної культури перенести стерильною піпеткою на поверхню твердого середовища. Для одержання рівномірного росту розтерти суспензію бактерій по поверхні середовища в чашці стерильним шпателем (посів газоном);

2. Індикаторні диски покласти на поверхню МПА профламбованим пінцетом. На кожен чашку помістити не більше 5-6 різних індикаторних дисків.

3. Чашки підписати і поставити у термостат з температурою 30°C на ніч.

4. Розглянути чашки і відзначити наявність стерильних зон навколо індикаторних дисків. Виміряти лінійкою діаметр стерильних зон. Результати занести до таблиці:

Таблиця 2.5

Досліджувана культура бактерій	Діаметр стерильної зони, мм
Диски антибіотиків	

Високочутливими до досліджуваного антибіотика вважають мікроорганізми, зона затримки росту яких навколо індикаторного диску перевищує 25 мм, чутливими – 15-25 мм, малочутливими – 11-15 мм.

### Лабораторна робота № 15

#### Роль води в процесах життєдіяльності одноклітинних організмів

Вміст води в клітинах досягає 65-80%. У протоплазмі на кожен молекулу білка доводиться близько 1800 молекул води. Залежно від умов культивування

вміст води в клітинах може мінятися. Частина води перебуває в позаклітинному просторі – це позаклітинна вода, а частина води – в самих клітинах. У свою чергу вода, що перебуває в клітинах, може бути у вільному й зв'язаному стані. У біологічних системах зв'язаною називають воду, що поверхнево тісно пов'язана із поверхнями біополімерів. 1 г ДНК зв'язує – 0,45 г води, що утворює гідратний шар товщиною 0,3 нм.

**Мета роботи:** обробка експериментальних даних і моделювання процесу гетеротрофного культивування мікроорганізмів.

**Матеріали та обладнання:** культура дріжджів роду *Candida*, стерильний розчин базового фосфатного буфера для середовища, стерильні розчини мікроелементів, заліза лимоннокислого, сульфату магнію й хлористого амонію.

### Хід роботи:

1. За даними таблиці 1 побудувати графіки термочутливості дріжджів роду *Candida* за різними показниками вологості біомаси (10 та 70%). На графіку: вісь абсцис – температура  $t$  °C; вісь ординат – виживаність клітин, %.

2. Графічним способом знайти температуру, за якою показники виживаності клітин дріжджів з вологістю 10 та 70% будуть збігатись.

3. Пояснити чому при зберіганні в герметичному посуді майже сухих хлібопекарських дріжджах (вологість 10-12%) кількість  $CO_2$  за 2 тижня збільшується майже в 10 разів, а кількість  $O_2$  зменшується до 18-19%.

Таблиця 2.6

### Показники температурної виживаності дріжджів *Candida*

Температура, $t$ °C	Виживаність клітин дріжджів, %	
	Вологість біомаси 10%	Вологість біомаси 70%
20	61	93
30	62	95
40	59	80
50	54	60
60	48	34
65	40	0
70	31	-

4. Як, на Вашу думку, буде змінюватись газовий склад герметичного посуду, якщо вологість препаратів дріжджів буде менш як 5%?

5. Що таке анабіоз? Поясніть чому зв'язана вода втрачає властивості активного розчинника?

## ТЕМА 4. БІОТЕСТУВАННЯ І БІОІНДИКАЦІЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

В зв'язку з глибокою трансформацією природного середовища, що здійснюється під дією антропогенного впливу, який за своїми масштабами вийшов на планетарний рівень, а за силою та швидкістю випереджають вплив



природних факторів, загострюються і стають актуальними проблеми збереження екосистеми та біосфери в цілому.

Визначення біологічно значимих антропогенних навантажень на основі реакцій на них живих організмів та їх угруповань пов'язано з фітоіндикацією. Значимість рослинного покриву як індикатора стану екосистеми є в тому, що він дуже чутливо реагує на зміну екологічних факторів і така реакція в багатьох випадках фіксується візуально. Достатньо важливим є те, що він відображує емерджентний характер змін властивостей екосистем в залежності від рівня їх організації. Ці три ознаки (чутливість, візуальність, емерджентний характер зміни рослинного покриву) визначають придатність фітоіндикації для екологічних досліджень, експертиз, прогнозування поведінки, стану та розвитку екосистем. Функції індикатора виконує той вид, який має вузьку амплітуду екологічної толерантності у відношенні до якого-небудь фактора. Основою фітоіндикаційною оцінкою служить екологічна специфіка видів, які ростуть тільки в певних зонах зміни якогось екологічного компоненту.

Найбільшого впливу господарської діяльності людини зазнають екосистеми міста. Тому важливим є контроль за станом навколишнього середовища та своєчасний аналіз забрудненості території міста. В деякій мірі ці питання дозволяє вирішити біоіндикаційна оцінка.

### ***БІОІНДИКАЦІЯ ЯК МЕТОД ЕКОЛОГІЧНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ***

Біоіндикація – оцінка якості природного середовища за станом біоти. Біоіндикація заснована на спостереженні за складом і чисельністю виглядів-індикаторів.

Біоіндикація використовується в екологічних дослідженнях, як метод виявлення антропогенного навантаження на біоценоз. Метод біоіндикаторів заснований на дослідженні впливу екологічних факторів, що змінюються, на різні характеристики біологічних об'єктів і систем. У якості біоіндикаторів вибирають найбільш чуттєві до досліджуваних факторів біологічні системи або організми. Зміни в поведінці тест-об'єкта оцінюють у порівнянні з контрольними ситуаціями, прийнятими за еталон. Наприклад, при оцінці екологічного стану поверхневих вод у якості біоіндикаторів використовують спостереження за поведінкою дафній, молюсків, деяких риб тощо.

Ряд рослин-індикаторів у більшості випадків реагують на підвищення або зниження концентрації мікро- і макроелементів у ґрунті. Це явище використовується для попередньої оцінки ґрунтів, визначення можливих місць пошуку корисних копалин.

Один зі специфічних методів моніторингу забруднення навколишнього середовища – біоіндикація, визначення ступеня забруднення геофізичних середовищ за допомогою живих організмів, біоіндикаторів. Живі індикатори не повинні бути занадто чуттєвими і занадто стійкими до забруднення. Необхідно, щоб у них був досить тривалий життєвий цикл. Важливо, щоб такі організми були широко поширені на планеті, причому кожен вид повинен відповідати визначеному місцеперебуванню. Лишайники цілком відповідають усім цим

вимогам. Вони реагують на забруднення інакше, ніж вищі рослини. Довгостроковий вплив низьких концентрацій забруднюючих речовин викликає в лишайників такі ушкодження, що не зникають аж до загибелі їх сланей. Це пов'язано з тим, що лишайники відновлюють свої клітини дуже повільно, у той час як у вищих рослин ушкоджені тканини замінюються новими досить швидко. Біоіндикація має ряд переваг перед інструментальними методами. Вона відрізняється високою ефективністю, не вимагає великих витрат і дає можливість характеризувати стан середовища за тривалий проміжок часу.

Фактори середовища досить строго визначають, які організми можуть жити в даному місці, а які не можуть. Враховуючи це, можна використати обернену закономірність і розглядати фізичне середовище організму, який в ньому проживає. Так з'явився метод біоіндикації середовища, який особливо широко використовують у лісовій типології, фітоценології. Також для визначення рівня забруднення атмосферного повітря за допомогою лишайників (ліхеноіндикація), мохів (бріоіндикація) чи грибів (мікоіндикація).

Вчений Ю.Одум наводить ряд суттєвих зауважень, які слід брати до уваги під час використання цього методу.

1. Стенотопні види, як правило, є кращими індикаторами, ніж евривиди. Наприклад, копитняк – виражений мезофіт; він трапляється в діброві, де репрезентує багаті умови зростання.

2. Крупні види є кращими індикаторами, ніж дрібні, оскільки на даному потоці енергії може підтримуватися більша біомаса або "врожай на корені", і ця біомаса розподіляється між більшими організмами. Наприклад, анемона дібровна – вид дібровних умов зростання, який рясно представлений у буковому лісі лише під час цвітіння (весняний аспект). Однак вже в червні не можна знайти її слідів. В той час як бук – індикатор родючих бучин – завжди буде представлений і відіграватиме в будь-який час роль індикатора.

3. Числове співвідношення різних видів, популяцій і цілих угруповань часто служить кращим індикатором, ніж чисельність одного виду, оскільки ціле краще, ніж частина, відбиває загальну суму умов. Наприклад, чисті угруповання сосни високих бонітетів є індикаторами свіжих борових та суборових пісків. Коли говоримо про діброви, то беремо до уваги багаті ґрунти і благодатний клімат. Зарості кропиви дводомної індикують багаті на азот землі.

Отже, біоіндикатори – це група особин одного виду або угруповання, наявність, кількість або інтенсивність розвитку яких у тому чи іншому середовищі є показником певних природних процесів або умов зовнішнього середовища.

Біологічну індикацію широко використовують сьогодні для оцінки забруднення навколишнього середовища, яке "усуває" з природних екологічних ніш нестійкі до факторів забруднення види нижчих і вищих рослин, а також представників фауни.

Біоіндикатори, біологічні індикатори – організми, присутність (наявність), кількість або інтенсивний розвиток яких є показником якихось

природних процесів або умов зовнішнього середовища. Так, скупчення рибоїдних птахів є показником біоіндикації місць, де водиться риба, за складом планктону можна передбачити, який буде вилов риби. За складом флори і фауни вод можна визначити придатність води для пиття та з'ясувати ефективність роботи очисних споруд. За допомогою індикаторних рослин та мікроорганізмів можна дати орієнтовну оцінку якості ґрунту. Тварини, рослини, мікроорганізми використовують при космічних дослідженнях як біоіндикатори для з'ясування впливу факторів космічного простору на організми.

У зв'язку з потребою проведення глобального моніторингу, використання індикаційних можливостей біологічних об'єктів набуває все більшого значення. Рослини-індикатори використовуються як для виявлення окремих забруднювачів, так і для спостереження за загальним станом повітря. Завдяки цілому ряду біологічних особливостей лишайники є добрими індикаторами зміни стану навколишнього середовища в умовах його забруднення двоокисом сірки, фторидами, лужним пилом, важкими металами. Вчених цікавить біоіндикація в вузьких рамках, яка відноситься до антропогенних або антропогенно модифікованих факторів середовища, при цьому мова йде не про оцінку наявності, концентрації чи інтенсивності будь-якого параметра середовища, а про реакції біологічних систем. Зменшення кількості лишайників говорить про підвищення стресу на сильно забруднених територіях. Обумовлені значення частоти і домінування корелюють із концентрацією. Угрупування лишайників дають інформацію, пов'язану з багатьма оцінювальними питаннями включаючи забруднення природних ресурсів, біорізноманіття. Лишайники не тільки показують здоров'я лісів, існує ще чітко встановлений зв'язок зі стресорами навколишнього середовища.

## **ФІТОІНДИКАЦІЯ ЯК НАУКОВА ЕКОЛОГІЧНА ПРОБЛЕМА**

### **Екологічні основи фітоіндикації**

Всі екологічні системи – організми, популяції або біоценози – в ході свого розвитку пристосувались до комплексу факторів, місця існування. Вони заволоділи всередині біосфери певною областю, екологічною нішею, в якій знаходяться відповідні умови існування, та можуть нормально житись та розмножуватись. Кожен організм володіє у відношенні будь-якого діючого на нього фактора генетично детермінованим, філогенетично набутиим, унікальним фізіологічним діапазоном толерантності, в межах якого цей фактор є для нього оптимальним. Якщо цей фактор відрізняється дуже високою або дуже низькою інтенсивністю, але не приводить до загибелі, то організм знаходиться в фізіологічному песимумі. За рамками деякого мінімального або максимального значення фактора подальше життя неможливе. В обмеженій області інтенсивності фактора, яка особливо сприяє для даної особини, організм існує в умовах фізіологічного оптимуму. При широкій амплітуді толерантності організми називають еврипотентними, при вузькій – стенопотентними. Відповідно організми або угруповання організмів, життєві функції яких так

тісно корелюють з певними факторами середовища, що можуть застосовуватись для їх оцінки, називають фітоіндикаторами. Це визначення відноситься і до індикації природних умов місця існування в цілому, що здійснюється, наприклад, в сільському та лісовому господарстві за присутності рослин, які характерні для певного екотопу.

При фітоіндикації зміни біологічної системи завжди залежать, як від антропогенних, так і від природних факторів середовища. Ця система реагує на дію середовища в цілому у відповідності зі своєю схильністю, тобто такими внутрішніми факторами, як умови харчування, вік, генетично контрольована стійкість та вже присутні порушення. Якщо індикатор реагує значним відхиленням життєвих проявів від норми, то він є чутливим фітоіндикатором. Акумулятивні фітоіндикатори, навпаки, накопичують антропогенні впливи більшою частиною без швидкого виявлення порушень. Функції індикатора виконує той вид, який має вузьку амплітуду екологічної толерантності у відношенні до будь-якого фактора. В більшості випадків це рослини – організми, які не здатні до активного переміщення.

Індикація екологічних умов проводиться на основі оцінки зміни як видового розмаїття організмів тієї чи іншої місцевості, так і їх хімічного складу, який відображає їх здатність накопичувати елементи та сполуки, які надходять з навколишнього середовища. Наприклад, оцінка стану навколишнього середовища при зміні кількості видів пов'язана з тим, що найбільш чутливі до тих чи інших забруднюючих речовин види рослин зникають з біоценозу (лишайники в промислових центрах) або, навпаки, збільшують свою чисельність (синьо-зелені водорості при надходженні у водойми забруднюючих речовин з сільськогосподарських угідь).

Отже, фітоіндикація є складовою частиною екологічного моніторингу – системи нагляду за станом навколишнього середовища на певній території (від ділянки суші або водної поверхні до цілого континента) з метою раціонального використання природних ресурсів та охорони природи. Біологічний моніторинг включає нагляд за станом навколишнього середовища та факторами дії, а також прогнозування зміни навколишнього середовища та оцінку його майбутнього стану. Його об'єктами виступають рослини та їх угруповання.

## ***ФІТОІНДИКАЦІЯ: ОСНОВНІ ДІАГНОСТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА ПІДХОДИ***

### **Фітоіндикація антропогенних впливів за морфологічними змінами рослин**

Динамічна рівновага та стабільність біологічних систем тісно пов'язані з фітоіндикацією морфо-генетичних змін рослин у відповідь на антропогенні впливи. На рівні організмів та екосистем впливи стресорів відрізняють тільки завдяки появі зовнішніх симптомів ушкоджень (некрози, хлорози) після того як порушено кордон адаптаційної здатності і системи стають нестабільними. Для деяких стресових факторів вже випробувані та іноді спеціально підібрані

різноманітні морфологічні індикатори, за допомогою яких можлива коротко або довгострокова індикація як при низьких, так і при високих дозах їх впливів.

Макроскопічні зміни пов'язані зі змінами забарвлення листя, які являють у більшості випадків неспецифічну реакцію на різноманітні стресори.

Хлороз – бліде забарвлення листя між жилками. Так (у рослин на відвалах, які залишаються після видобутку важких металів); пожовтіння країв або певних ділянок листя (у листяних дерев під впливом хлоридів); почервоніння (накопичення антоціанів у вигляді плям на листях смородини та гортензії під дією  $SO_2$ ); побуріння або побронзовування (у листяних дерев – часто початкова стадія важких некротичних ушкоджень, у ялини та сосни – служить для подальшої розвідки димових ушкоджень). Зміна забарвлення при яких характер ураження листя схожий з морозними ураженнями – часто перші стадії некрозів.

Некрози – відмирання обмежених ділянок тканин – важливі симптоми ушкоджень при індикації, іноді специфічні. Розрізняють такі види некрозів:

1) крапельні та плямисті некрози – це відмирання тканин листової пластинки у вигляді крапок або плям, дуже характерні сріблясті плями після впливу озону у тютюну сорту Bel W3;

2) міжжилкові некрози – відмирання листової пластинки між бічними жилками першого порядку, часто при дії  $SO_2$ ;

3) крайові некрози – характерні, чітко відмежовані форми, з'являються у лип, які ушкоджені кам'яною сіллю, яку застосовують для танення льоду. Поєднання міжжилкових та крайових некрозів приводить до появи візерунку типу “риб'ячого скелету”;

4) верхівкові некрози (в особливості у однодольних та хвойних), характерні темно-бурі, різко відмежовані некрози кінців хвої у сосни та ялиці після дії  $SO_2$ , або білі знебарвлені некрози верхівок листя у *Gladiolus Snow Princess* під впливом  $F_2$  та HF;

5) некрози навколопліднику, які утворюються після впливу  $SO_2$  на насінні плоди, особливо біля квіток. При розвитку некрозів спочатку спостерігається зміна в забарвленні (при дії  $SO_2$  найчастіше утворюються брудно-зелені; пероксиацетилнітрату – просочені водою;  $O_3$  – плями з металічним блиском; хлоридів – хлорози). Після загибелі клітини вражені ділянки осідають, висихають і можуть за рахунок виділення дубильних речовин забарвлюватись у бурий колір (часто у дерев), або через декілька днів вицвітають до білуватого забарвлення.

Передчасне в'янення відбувається під дією етилену в теплицях: квіти гвоздики при цьому не розкриваються, а пелюстки орхідей в'януть.

Опадання листя (дефоліація) у більшості випадків спостерігається після некрозів або хлорозів. Прикладом служать зменшення тривалості життя хвої, її осипання у ялин, скидання двоголкових укорочених пагонів у сосни, передчасне опадання листя у лип та кінських каштанів під впливом солі, яку застосовують для танення льоду, або у агрусу та смородини під дією  $SO_2$ .

Зміна форми, кількості та положення органів. Аномальна конфігурація листя відмічена у листяних дерев після впливу радіоактивного випромінювання. В результаті локальних некрозів виникає потворна деформація, перетягування, здуття або викривлення пагонів, зрощення або розщеплення окремих органів, збільшення або зменшення в числі частин квітки, зміна статі та інші аномалії розвитку під дією гормональних гербіцидів або радіоактивного випромінювання.

Зміна напрямку, форми росту і галуження. Зміну напрямку росту коренів відмічено у кульбаби при зміні рівня ґрунтових вод; у *Dycranum polysetum* – утворення сланких пагонів та галуження; у лип при стійкому забрудненні атмосфери HCl або SO<sub>2</sub> спостерігається куцovidна та подушкова форми росту; у вражених димом хвойних порід зрідження крони та зміна бонітету стовбура.

Зміна приросту в більшості неспецифічна, але широко застосовується при індикації, так як є більш чутливим параметром, ніж некрози і дозволяє безпосередньо визначити зниження продуктивності вирощуваних людиною рослин. Вимірюють головним чином зміни радіального приросту стовбура, приросту пагонів та листя в довжину, довжину коренів.

Зміна плодовитості спостерігається у багатьох рослин, це може бути, наприклад, зменшення утворень плодових тіл у лишайників.

Отже, після порушення адаптаційної здатності у рослин з'являються зовнішні симптоми ушкоджень за якими можна робити індикацію тих чи інших стресових факторів на рослину.

#### **Адаптація рослин до умов техногенно забрудненого середовища**

Здатність рослин пристосовуватись до зміни умов середовища такі вчені як Д.М. Гродзинський розглядав як прояв форм надійності, а А.А. Жиренко – як реалізацію їх адаптивного потенціалу. Пристосованість рослин до певного місцезростання привела в ході еволюції до створення різних видів вищих рослин, які відрізняються хімізмом обміну речовин. Ці біохімічні відмінності, біологічні особливості росту та розвитку, а також анатомо-морфологічні відмінності в будові асимілятивних органів рослин і визначають, на погляд Л.П. Красинського, видові відмінності в газостійкості, яка в першу чергу визначається їх фізіолого-біохімічними особливостями.

В світлі положень надійності біологічних систем, сформульованих Д.М. Гродзинським, в стійкості рослин до дії викидів промислових підприємств першорядне значення повинні мати механізми, які забезпечують автономний захист кожного органа та окремої його клітини від несподівано або швидко поступаючих, різноманітних за хімічним складом синтетичних речовин.

У відповідь на дію екстремальних факторів природного середовища в клітинах рослин синтезуються не тільки специфічні адаптогени та стрес протектори, але й при досягненні певного рівня напруги фактору і токсичні речовини.

Техногенне забруднення навколишнього середовища різними хімічними речовинами є для рослин не скільки якісно новим, скільки кількісно вагомим фактором, тобто суттєво перевищує можливості механізмів стійкості.

Надходження в надземні органи рослин токсичних синтетичних речовин як за об'ємом, так і за часом дії значно перевищує поглинання рослинами непотрібних речовин природного походження.

Інгредієнти техногенного забруднення середовища відносяться до не ресурсних факторів, дія яких на рослини може істотно лімітувати ефективність використання природних ресурсів, необхідних їй для нормального росту та розвитку. Зменшення біомаси, скорочення тривалості життя дерев'янистих рослин Ю.З. Кулагін розглядав як “вимушену плату” за адаптацію до умов техногенних екотопів. Фенотипічні модифікації рослин в екстремальних умовах техногенних екотопів можуть мати двоякі властивості: пов'язані з підвищенням функціональної значимості захисних механізмів цілої рослини та окремих її органів або з посиленням ефективності використання ресурсних факторів середовища.

Дослідження в різних промислових регіонах показують, що трав'яні рослини більш пристосовані до росту в умовах забрудненого середовища. На відміну від деревних порід, повний індивідуальний розвиток деяких евритопних видів можливий в найбільш несприятливих умовах техногенних екотопів, наприклад, на територіях промислових виробництв, біля основних джерел емісій та токсичних відвалів гірничих кар'єрів.

Для деревних рослин адаптивні зміни пов'язані з формуванням мало об'ємних щільно зімкнутих, слабо продувних, кулястих або зонтичних крон. Формування щільнозімкнутих слабопродувних крон знижує вірогідність тотального пошкодження мутагенами асиміляційних органів та новоутворень як у вегетативній, так і в генеративній сферах. В екстремальних умовах природного та техногеннозабрудненого середовища спостерігається мінімізація розмірів основного органа рослин – пагона. Формування вкорочених меживузль, зміна ауксибластів в брахіопласти – результат скорочення періоду активності росту рослин та прискорення елементарних етапів морфогенезу. Зниження темпів росту деревних рослин, які піддаються дії емісії промислових підприємств, пов'язано з перерозподілом речовино-енергетичних ресурсів між вегетативними та генеративними частинами рослин. Із-за постійної надмірної витрати ресурсів пластичних речовин на створення необхідних морфоструктур, повільне накопичення фітомаси в життєвій стратегії рослин техногенних екотопів значно скорочуються або повністю виключають репродуктивні фази розвитку.

Як реалізацію принципу „уникнення” критичних періодів, або ритмологічної поліваріантності, слід розглядати і скорочення строків вегетації у багатьох видів рослин в екстремальних умовах техногенних екотопів. Цей зсув у фенологічному стані рослин досягається за рахунок передчасного опадання листя. Скорочення строків вегетації і, відповідно, збільшення більш безпечного у відношенні впливу полютантів періоду органічного та вимушеного спокою Ю.З. Кулагін розглядав як прояв „анаболітичної форми зимостійкості” в адаптивній стратегії виду.

Порівнюючи способи захисту цілісності онтогенезу рослин в екстремальних умовах природного та техногенного забрудненого середовища вчені відмічали високу ступінь їх ідентичності у фенологічному прояві, що може свідчити про генетичну передвизначеність загальних реакцій рослин на пошкоджувальний вплив поллютантів та стресову дію природних факторів, в межах видової адаптивної норми. Звісно, що платою за виживання рослин в найбільш жорстких умовах техногенних екотопів є значне зниження цінності їх господарських та декоративних якостей.

### **Фітоіндикація, її роль в оцінці довкілля**

Індикаторні рослини можуть використовуватись як для виявлення окремих забруднювачів повітря, так і для оцінки загального стану природного середовища. Фітотоксична дія атмосферних забруднювачів виявляється шляхом спостереження за дикорослими та культурними рослинами. Моніторинг може здійснюватись шляхом спостереження рослинних угруповань фітоценозів. За допомогою моніторингу на рівні виду звичайно проводять специфічну індикацію якогось одного забруднювача, а на рівні фітоценозів – загального стану природного середовища.

Як на рівні виду, так і на рівні фітоценозів про стан природного середовища можна зробити висновки за показниками продуктивності рослин. Деякі анатомо-морфологічні та фізіолого-біохімічні ознаки рослин також можуть служити критерієм кількості поглинутого рослинами токсиканта.

Урбогенні градієнти середовища, які розрізняють на території міст за їх едафічними та кліматичними характеристиками, а також за станом забруднення абіотичного і біотичного довкілля, вимагають трудомістких і дорогих інструментальних досліджень. Крім того, вони не можуть водночас дати комплексної оцінки стану середовища. Для диференціації комплексних урбогенних градієнтів середовища використовують п'ять рівнів річної індикації: фізіолого-біохімічний (клітинний), анатомо-морфологічний (організмівий), популяційний, ценотичний і біогеоценотичний.

Комплексний урбогенний градієнт середовища (КУГС), як відомо, проявляє себе в міру пересування від периферії до центру зумовлює стан біоценотичного покриву міста і його приміської зони, утворюючи екокліни або еколого-фітоценотичні пояси. Біологічне індексування дає змогу встановити реакцію різних організмів та вплив КУГС в цих екоклінах.

Клітинний рівень реакції рослин на вплив КУГС проявляється передусім у зростанні напруженості водного режиму. Наприклад, на початку серпня всмоктуюча сила листя липи крупнолистої, кінського каштана й ялини колючої (цей показник є мірилом активності води в клітинах листових пластинок) в умовах Львова значно вища (на 7-8 атм.), ніж у замських насадженнях. Проте в кінці вегетаційного періоду всмоктувальна сила у міських видів різко зменшується і листя поступово починає всихати і відпадати. Першою із ознак відчутного впливу КУГС у III еколого-фітоценотичних поясах (ЕФП) є зменшення хлорофілів і каротиноїдів.



Організмий рівень. Індування стану міського середовища і , зокрема, дії КУГС в різних ЕФП можна вести шляхом оцінки анатомо-морфологічних змін. Наприклад, вплив КУГС у III і IV ЕФП проявляється у ксероморфізмі листової пластинки дерев і чагарників, її зменшенні і потовщенні. Одночасно змінюється структура, форма і розміри крони. Внаслідок зменшення розмірів і кількості листя крона стає ажурнішою. Змінюються й інші морфологічні показники: знижується лінійний приріст пагонів поточного року, прирости у висоту і за діаметром, зменшується розмір генеративних органів, скорочується тривалість вегетаційного періоду, падає життєвість рослин. Такий підхід дає змогу визначити три основні групи деревних рослин (найстійкіші, середньої і низької стійкості до дії КУГС) та розробити рекомендації щодо їх вирощування у відповідних еколого-фітоценотичних поясах.

Флористико-фауністичний рівень. Від периферії до центру міста, а отже, від I до IV ЕФП зменшується флористичне та фауністичне різноманіття біоти. Ліхеноіндикація, за допомогою якої вдалося встановити рівень збіднення видового складу лишайників, появу нових для місцевих ценозів токситолерантних видів, а також зникнення специфічних рис покриву епіфітних лишайників, дає можливість не лише диференціювати КУГС всередині міст і приміських зон, але й проградувати стан цілих міських екосистем, виділивши, наприклад, "чисте" місто Тернопіль, "середньої чистоти" Івано-Франківськ, Луцьк, Рівне і "брудне" – місто Львів.

Ценопопуляційний рівень. Можна простежити, як з I по III ЕФП рвуться ценопопуляційні зв'язки. Наприклад, у III ЕФП лісові ценопопуляції практично не трапляються, а в IV їх існування повністю залежить від господарської діяльності. В більшості парків, створених на місці грабово-букових та грабово-дубових лісів, не знаходимо таких характерних індикаторів як осока волосиста, копитняк, печіночниця, конвалія, барвінок. Однак, бачимо, як рясно розвиваються антропогенні ценопопуляції бальзамину, яглиці, гравілату міського.

Фітоценотичний рівень. Прослідковується спрощення структури фітоценозів: видової, просторової (вертикальної і горизонтальної), екологічної, характеру рясності видів і проективного вкриття.

Біоценотичний рівень. Спостерігається при пересуванні від I до IV ЕФП порушення трофічної структури біоценозів, що проявляються передусім у зменшенні гетеротрофів другого порядку, а також деструкторів.

Фітоіндикація урбогенного середовища як метод порівняльної екології вимагає подальшого розвитку, зокрема пошуку кількісних тестованих оцінок, поєднання усіх рівнів досліджень – від клітинного до біогеоценотичного рівнів.

В зоні забруднення повітря сірчистим газом рослини інтенсивно накопичують у своїх тканинах сірку. Звичайно чим більший склад цього елементу в рослинах, тим сильніше виявляється пошкоджене листя. Спочатку на них виникають опіки, потім листові пластинки зморщуються, відмирають та опадають. В рослинах, піддавались впливу двоокису сірки, різко падає вміст

хлорофілу, суттєво порушується структура хлоропластів. Все це відбивається на інтенсивності фотосинтезу, вона різко ослаблюється, що в свою чергу гальмує ріст рослин, знижує врожайність, послаблює стійкість рослин до збудників хвороб. Рослини, у яких реакція на сірчистий газ проявляється різко та чітко, можна використовувати як індикатори цього токсиканта. Таким індикатором можуть бути епіфітні лишайники, які потребують дуже чистого повітря і найменше забруднення атмосфери, яке не впливає на більшість вищих рослин, викликає їх масову гибель. Хвойні теж страждають від сірчистого газу, під дією якого хвоя сосни в зонах сильного забруднення набуває темно-червоного кольору, який розповсюджується від основи голок, до їх гострого кінця, а потім голки відмирають і опадають. Дуже високою чутливістю до сірчистого газу володіє злак тонконіг однорічний (*Poa annua L.*).

Фтор також дуже шкідливий для рослин. Рослинні клітини реагують на нього відразу ж після його проникнення у тканини. Перш за все на рослинах з'являється хлороз, який супроводжується відмиранням листя (цитрусові, хвойні, рис, коліус, яблуня, груша). При індикації забрудненості атмосфери фтором використовують особливо чутливі до фтору рослини: цибулю, гладіолуси, ялину, квасолю, сорго, сосну. Ці рослини страждають вже при концентрації фтористого водню порядку 0,5 мкг/м<sup>3</sup>. Найбільш характерна ознака пошкодження хвойних порід – побіління, а потім потемніння кінців голок.

Більше 40 елементів періодичної системи хімічних елементів відносяться до важких металів. З точки зору забруднення навколишнього середовища, в основному вони нагромаджуються в ґрунті, також здатні накопичуватись в харчових продуктах, найбільш токсичні з них – Hg, Pb, Cd, Sn, Va, Zn, Sb, Cu, Ni, Mo, As і Co. Для індикації забрудненості атмосфери важкими металами використовуються нижчі рослини, сфагнові мохи, лишайники. Під впливом надлишку деяких елементів в природному середовищі змінюється забарвлення листя, квітів, плодів та інших органів вищих рослин.

Найбільш часто при надлишку того чи іншого елемента виникає явище хлорозу – втрата зеленого забарвлення, яке супроводжується пожовтінням, а іноді навіть побілінням листя. До виникнення таких хлорозів призводить надлишок в ґрунті сполук алюмінію, марганцю, міді. Надлишок рухливого цирконію приводить до омертвіння тканин листя, при цьому між омертвілими ділянками можуть зберігатися зелені зони. Розповсюдження хлорозу від верхівки листка до основи викликане перенасиченням ґрунту цинком.

В деяких випадках явище хлорозу супроводжується не пожовтінням, а почервонінням листя. Характерні зміни спостерігаються у смілки білої, яка поглинула багато свинцю, її листя та стебло стають темно-червоними. А почорніння хвої сосни в ряді випадків може вказувати на підвищений вміст в ґрунті та підстилаючій породі платини.

В результаті насичення тим чи іншим хімічним елементом змінюється і забарвлення квітів. Під дією йоду починають переважати жовто-червоні відтінки. У випадку збільшення у ґрунті марганцю квіти ряду рослин

набувають невластивої їм жовто-червоної гами, а гвоздики та айстри – темно-пурпурової. Пелюстки троянд під дією міді із рожевих та жовтих перетворюються в голубі або навіть червоні. Присутність у ґрунті високих доз нікелю приводить до того, що у сон-трави оцвітина змінює колір з фіолетового на білий.

Специфічний вплив підкислення ґрунтів на рослини (кислотні дощі) позначається на кислоточутливих видах. Забруднення ґрунту пилом, який містить важкі метали, відображається на рослинах, що мають високу чутливість до підвищеного вмісту цих елементів. Шкода, якої зазнають внаслідок дії сольового стресу позначається на фізіолого-біохімічних реакціях як солечутливих глікофітів, так і більш або менш солестійких галофітів.

Зміна хімічних параметрів ґрунту відображається через короткий або тривалий період на рості та продуктивності окремих видів, їх популяцій, або призводить до сильних порушень структури фітоценозів і навіть до розвитку сукцесій. Консументи та деструктори часто відчувають при цьому побічний вплив в результаті змін структури фітоценозів, кількісних або якісних змін в доступності їжі. Це в свою чергу відображається на їх активності та чисельності.

Отже, проблема захисту природного середовища в нинішній час носить глобальний характер. Важливим етапом на шляху оздоровлення природного середовища стає розробка методів моніторингу, які направлені на виявлення, ідентифікацію та визначення концентрації токсичних речовин. Дуже важливий елемент при цьому – рослини, які дуже чутливо реагують на стан атмосфери та гідросфери.

### **КРИПТОІНДИКАЦІЙНА ОЦІНКА СЕРЕДОВИЩА**

Атмосферне повітря сучасних міст містить десятки різних забруднювачів, як газових, так і завислих. Більшість з них отруйні для людини. Тому в містах організовані системи для спостереження за забруднювачами і їх вимірювання.

В різних пунктах міст встановлено прилади, які інформують про кількість забруднювачів у певний час і в динаміці. В основному інструментальні аерохімічні вимірювання характеризують стан на даний момент уривчасто (якщо мережа спостережних пунктів недостатньо густа).

Така інструментальна реєстрація може бути доповнена біоіндикаторними (ліхено-, бріо-, фітоіндикаційними) методами визначення ступеня забрудненості (чистоти) атмосферного повітря. Ці методи мають кілька позитивних якостей: 1) дешеві і потребують порівняно мало часу; 2) фітоіндикаційні дані відбивають багаторічний середній стан атмосферного середовища; 3) при повторних дослідженнях (картування) фітоіндикація дає уяву про динаміку ступеня забрудненості міста й інших населених пунктів.

Концепція фітоіндикації заснована на адекватному відображенні живим організмом умов середовища, в яких він розвивається і на зміну яких відповідним чином реагує. Споріві рослини, насамперед лишайники та мохи, як організми найбільш безпосередньо залежні від факторів навколишнього середовища, з особливим успіхом можуть бути використані в якості

фітоіндикаторів забруднення природного середовища. На відміну від інших рослин вони відрізняються більшою стійкістю до таких факторів, як високі і низькі температури, відсутність води, короткий вегетаційний період. Для лишайників і мохів характерне повсюдне поширення, довга тривалість життя, а також підвищена чутливість до різних забруднень повітря, що пояснюється особливостями будови і процесів життєдіяльності цих спорових рослин.

Різні види лишайників володіють неоднаковою стійкістю до забруднень і тому можуть служити добрими індикаторами ступеня забруднення повітря. Доведено, що епіфітні лишайники і мохоподібні є більш тонкими індикаторами якості повітря, ніж епілітні епігейні види.

Що ж до угруповання епіфітних лишайників як транзитних екосистем, в які речовини надходять і з яких виходять переважно низхідними гідрогеохімічними потоками.

Серед епіфітних лишайників найбільш чутливими до зміни гідрохімічних умов є куцисті лишайники, які мають найменший контакт з субстратом, низьку буферність середовища і пристосовані до найбільш низьких концентрацій шкідливих речовин у водному середовищі. Листкові лишайники в тих самих умовах толерантніші, за куцисті, а найтолерантнішими є накипні лишайники, які мають контакт з субстратом, високу буферність середовища і порівняно добре постачання поживними речовинами.

Використання водоростей в ролі індикаторів забрудненості атмосферного повітря лише з'ясовується. Встановлено, що аерофільні епіфітні водорості (наприклад, *Pleurococcus vulgaris*, *Clorococcus*, *Stichococcus bacilleus* та ін.) є більш токситолерантними порівняно з лишайниками і мохами. Вони часто ростуть у зоні лишайникової „пустелі”, тобто там, де відсутні лишайники. Ця властивість водоростей дає змогу розширити амплітуду криптоіндикаційних досліджень і використовувати їх в якості індикаторів в умовах сильного забруднення, де інші організми не розвиваються. За даними англійських дослідників, найпоширеніший аерофільний вид *Pleurococcus viridis* трапляється навіть в умовах з концентрацією SO<sub>2</sub> понад 170 мкг/м<sup>3</sup>.

За останні 50 років, упродовж яких все більше активізується і розширюється використання нижчих рослин, особливо лишайників і мохів, в ролі індикаторів ступеня забрудненості атмосферного повітря, суттєво збагатився набір криптоіндикаційних методів. Якщо перші десятиріччя головним методом було зональне картування поширення окремих видів лишайників у містах та їх околицях, то згодом з'явилося багато інших методів. Оpubліковано ряд оглядових праць, присвячених теорії та практиці біологічної індикації за допомогою лишайників.

Оскільки всі згадані методи базуються на представленні даних у вигляді карт або картосхем, а також у зв'язку з тим, що за екологічної індикації найбільший інтерес являє просторовий розподіл явищ, то є необхідність розглянути криптоіндикаційні методи з позиції можливості подання результатів як криптоіндикаційних карт. За даними естонського вченого Ю.Л. Мартіна, на сьогодні за результатами ліхеноіндикаційних досліджень закартовано близько

200 міст і промислових районів Західної і Східної Європи, Японії, Нової Зеландії, Північної та Південної Америки.

Картосхема, є практичним виходом індикаційних робіт, і особливо чіткого оформлення, точності, оскільки ця форма результатів передбачена головним чином для неспеціалістів в області ліхенології й екології.

На велику різноманітність карт й великі можливості їх складання й оформлення, розрізняють декілька типів карт і картосхем, та мають в основі однакові вихідні дані й однакову інформацію.

Перший тип карт відбиває відсутність або присутність видів на території, яка вивчається, причому відсутність виду несе таку інформацію як і його присутність (негативна і позитивна інформація). Подібні карти в принципі нічим не відрізняються від тих, що використовуються при флористичних і фітогеографічних дослідженнях. Детальність карти залежить від масштабу основи. Такі карти поділяються на точкові, які відбивають конкретні місцезнаходження, і контурні, які дають інформацію про наявність певного виду на прийнятій одиниці площі.

Ці два типи карт за змістом дають якісну характеристику поширення виду. Іншими словами ця група карт відбиває якісні флористичні дослідження, пов'язані з описом поширення окремих видів під впливом промислових викидів і в умовах міських агломерацій. Об'єктами цієї групи криптоіндикаційних методів (флористично-аутекологічних методів, за Трассом) є вид, його популяція, певні групи і повні списки видів певних місцезростань, субстратів, територій.

Другу групу становлять ті карти, які дають і деяку кількісну інформацію про поширення виду, тобто для кожного місцезростання подані характеристики виду: покриття, трапляння, життєвість, плодоношення тощо.

Метод визначення проективного вкриття певної площі, наприклад, половини стовбура дерева певним видом, може бути використаний, особливо у районах із сильним забрудненням повітря, де трапляються лише окремі найбільш токситолерантні епіфіти. Перевагою даного методу є відсутність в ньому суб'єктивних оцінок, проте він потребує високої спеціальної підготовки, та відносно дорогої техніки фотографування.

До третьої групи належать карти, які відбивають кількість видів лишайників. Цей показник можна розрахувати на окремий стовбур дерева або як середнє на прийнятну кількість форофітів (дерев одного, того ж виду і віку які зростають в однакових умовах), або ж як середню кількість видів лишайників на певній площі, що є одиницею картування. Звичайно, на карту наносять кількість епіфітних видів, які трапляються на 1 км<sup>2</sup> кожної досліджуваної ділянки. Наприклад, було показано, що кількість видів лишайників зростає зі збільшенням відстані від центра міста. Це явище надалі отримало назву міського ефекту.

У всіх зазначених випадках можливі різновиди карт, які відбивають кореляцію характеру поширення видів з показниками забруднення повітря на даній території.

Складання карт криптограмної рослинності входить в комплекс екологічних і геоботанічних досліджень. Подібні роботи можливі лише при достатній вивченості певного регіону. Наявність на території Великобританії радіації у повітрі дало змогу вченим Хоксворту та Роузу зіставити результати вивчення лишайникових угруповань з показниками приладів. На основі карти Джільберта, складеної на підставі вивчення лишайникових угруповань і корелюючої із середньорічними рівнями вмісту  $SO_2$ , в цих зонах отримано 10-бальну індикаційну шкалу (шкала оцінки забруднення повітря  $SO_2$  за допомогою вивчення угруповань епіфітних лишайників). Фітоіндикаційні шкали для визначення середньорічного вмісту  $SO$  у повітрі за показаннями епіфітних лишайникових угруповань мають добру достовірність в області значень забруднювача від  $SO$  до  $170 \text{ мкг/м}^3$  повітря.

Краща кореляція існує між величиною значень зимових концентрацій. У районах Західної Європи, де зимові значення вмісту  $SO_2$  перевищують  $170 \text{ мкг/м}^3$ , епіфітні лишайники відсутні. Необхідно брати до уваги, що застосування фітоіндикаційних шкал обмежене в основному районами, для яких вони розроблені. Тому в межах України використовувати ці шкали неможливо. Причому клімат Британських островів більш вологий і достатньо малих доз  $SO_2$  для загибелі лишайників. У більш континентальних районах така концентрація, мабуть, буде вищою.

За Ю.Л. Мартіном, серед карт рослинності можна виділити три категорії.

1. Дрібномасштабні карти. Таких карт опубліковано небагато. Хокворт і Роуз склали карту, яка відбиває забруднення в Англії та Уельсі на основі епіфітних лишайників. Рао і Леблан подали карту, яка відбиває порушену рослинність бореальних лісів у Вейво, Онтаріо (Канада). До цієї групи карт також належить карта Баркмана, яка висвітлює генералізовану картину поширення епіфітних пустель навколо міських агломерацій і промислових центрів у Голландії.

2. Середньомасштабні карти. Із карт, які належать до цієї категорії, заслуговує на увагу робота Джільберта, де показана лишайникова пустеля с Тюн Веллі в Англії. Подібну карту підготував і Домроз для індустріального району Рейн-Вестфалія, яка ґрунтується на ступені покриття лишайникових угруповань.

3. Крутомасштабні карти. Правильно було б називати їх картосхемами. Ці карти дають загальну картину зон епіфітної рослинності всередині і навколо міст та індустріальних центрів. Таких карт багато, мабуть, більша частина індикаційних карт (для Осло, Стокгольма, Хедьсіню, Цюріха, Дебрецена, Кракова, Монреалю, Бухареста, Будапешта). Безліч індикаційних карт, виконаних у багатьох країнах, ґрунтується на різних індексах, тобто на синтетичних показниках, які кількісно передають властивості лишайникових угруповань.

На цих картах не відбиваються якісні властивості угруповань, що вивчаються, і інформацію для створення ієрархії картуєчих одиниць служать

інтегральні кількісні показники. Мова, йде головним чином, про два найбільш поширені індекси та їх модифікації:

А) І.Р. – індекс політолерантності Трасса, який має такий вигляд:

$$I.P. = \sum_i^n \frac{a_i \times c_i}{C}$$

де  $n$  – кількість видів у синузії;  $a_i$  - ступінь політолерантності виду (екологічний індекс);  $c_i$  – покриття виду;  $C_i$  – сумарне покриття видів, що утворюють синузю.

У формулі Трасса показники (класи) толерантності видів ( $a_i$ ) можуть мати значення від 1 до 10 і визначаються за результатами польових спотережень для кожного виду; покриття виду ( $c_i$ ) визначається за 10-бальною шкалою: 1 - покриття становить 1 – 3%; 2 – 3-5%; 3 – 5-10%; 4 – 10-20%; 5 – 20-30%; 6 – 30-40%; 7 – 40-50%; 8 – 50-60%; 9 – 60-80%; 10 – 80-100% площі квадрата (наводиться візуально або за допомогою сітки квадрата 20x20см).

Класом політолерантності ( $a_i$ ) даного виду вважають той, де вид найбільш часто спостерігався і має найвище покриття і життєздатність. Таких класів 10: від 1-го (природні ландшафти без антропогенного впливу) до 10-го (міські та індустріальні ландшафти з дуже сильним антропогенним впливом). Для того, щоб встановити місцеву незалежність виду до класу політолерантності, всі його місцезнаходження розподіляють за типами місцезростань, вимальовується крива локальної "поведінки" виду на узагальненій трансекті і в чистих до забруднених місцезростань. Така методика визначення класу політолерантності виду має, звичайно, деякі недоліки. Результати її застосування залежать від кількості матеріалу, від суб'єктивності визначення типів місцезростань, в яких були зібрані або описані зразки даного виду, від трапляння виду на території (рідкий чи звичайний).

І.А.П. – індекс чистоти атмосфери де Слувера і Леблана, який математично є сумою добутоків комбінованого показника трапляння екологічного покриття й екологічного індексу, який відбиває чутливість до забрудненого повітря кожного з видів, що складають угруповання. Індекс чистоти має такий вигляд:

$$I.A.P. = 1/10 \sum_{i=1}^n Q_i \times F_i$$

де  $Q$  – екологічний індекс кожного виду (ступінь стійкості до забруднення);  $f_i$  – комбінований показник частоти трапляння-покриття кожного виду;  $n$  – кількість видів, які зростають у даному районі.

Екологічний індекс ( $Q$ ) оцінюється від 1 до 30 і визначається за середнім значенням кількості видів, які траплялись в досліджуваному місці, зростанні;  $f$  – комбінований показник трапляння-покриття може мати значення від 1 до 5 і визначається візуально.

Недоліком цієї типології є деяка розпливчастість. У чистому вигляді вказані комбінації видів, безперечно, трапляються рідко (крім перших трьох), і досліднику необхідно визначати належність своїх описів до двох-трьох класів через всілякі переходи між класами, звідси і можливості суттєвих помилок. У

методиці Трасса значення і ступінь політолерантності видів залишаються проблематичними, якщо дослідження здійснюються в новій області (у відношенні до тієї, де було проведене визначення політолерантності видів раніше).

Для складання екологічних рядів витривалості типологій політолерантності, чутливості або сенсильності видів лишайників спочатку використовувались дані візуальних спостережень за видами на різних відстанях від джерела забруднення, обробляли ценологічні описи (зведені таблиці), пізніше здійснювали статистичні обробки і, нарешті, дані експериментальних досліджень про витривалість різних видів відносно до концентрації певних забруднюючих речовин (сірчистого ангідриду, фтору, озону).

Проте, оскільки точні експериментальні аналізи до останнього часу стосувались лише незначної кількості видів, головним методом залишається спостереження за поведінкою видів у полі, в природних умовах, табелярна обробка зібраних даних і показ у вигляді кривих їх „поведінки” на екологічному трансекті (градієнті) з віддаленням від джерела забруднення – центру міста, промислового підприємства .

### ***ЛІХЕНОІНДИКАЦІЯ***

Один з провідних ліхенологів, Ханс Трас, розділив методи ліхеноіндикації (тобто індикації за допомогою лишайників) на три групи. На перше місце він поставив методи, що дозволяють вивчати зміни, що відбуваються в будові і життєвих функціях лишайників під впливом забруднення. Методи другої групи базуються на описі видів лишайників, що живуть у районах з різним ступенем забруднення атмосфери. Третя група включає методи вивчення цілих лишайникових співтовариств у забруднених районах і складання спеціальних карт. При використанні методів першої групи можна вибрати показовий вид лишайника, що досить легко реагує на погіршення якості навколишнього середовища. Відмінний приклад такого індикаторного виду – гіпогімнія роздута, багато ліхенологів використовують цей лишайник при проведенні своїх досліджень. Так, вивчаючи поширення викидів сталеливарних заводів у Північній Фінляндії, учені зібрали зі стовбурів дерев гіпогімнію роздуту, що виросла на різних відстанях від заводів. В міру наближення до джерела викидів різко змінювалися такі показники стану рослини, як кислотність клітинного соку, електропровідність, вміст хлорофілу, сірки і заліза, і ступінь пошкодження фотобіонта. До речі, за станом водорості в лишайнику легко спостерігати, користуючись флуоресцентним мікроскопом. Здорові клітини в синьому або ультрафіолетовому світлі мають характерне червоне світіння. В міру руйнування клітин колір стає спочатку коричневим, потім жовтогарячим і потім білим.

Щоб визначити, наскільки швидко зміниться лишайник під впливом забруднення, користуються методом трансплантації, тобто пересадження рослини в забруднені райони. Уперше трансплантацію лишайників здійснив німецький учений Ф. Арнольд у 1892 році. Він переніс декілька надґрунтових видів цих рослин із сільської місцевості в місто Мюнхен. Незабаром усі



"переселенці" загинули. У 60-х роках минулого століття з м. Хібін у Ботанічний сад Тартуського університету (Естонія) привезли п'ять арктоальпійських лишайників. Вже в перші місяці перебування на новому місці лишайники сплотноїли, їх апотеції втратили свій ошатний вид, ріст припинився. Через рік усі лишайники загинули. Довше інших протрималася нефрома арктична.

Існує кілька способів трансплантації. Надґрунтові лишайники переносять разом із ґрунтом, вирізаючи ділянки розміром 20x20 або 50x50. Рунисті види можна переносити в спеціальних пластмасових горшках або підвішувати в сіточках. Епіфітні види переносять разом з гілками або шматочками кори, на яких вони росли. Для висікання дисків з кори користуються особливими бурами діаметром 4-6 см. У забрудненому районі кору і гілки з епіфітами прибивають на дерева тих же порід, що і дерева, з яких вони були вилучені, або на спеціальні дошки і стовпи. Через кілька тижнів або місяців лишайники досліджують і визначають ступінь їхньої пригніченості. Пересадження дає зведення про індивідуальну стійкість видів.

Стосовно забруднення повітря види лишайників можна розділити на три категорії: 1) низько чуттєві, зникаючі при перших симптомах забруднення; 2) середньочуттєві, що приходять на зміну загиблим чуттєвим видам, з якими вони не могли конкурувати, поки повітря було чистим; 3) самі витривалі, толерантні до забруднення.

Цікаві результати отримані ліхенологом В.В. Горшковим на Кольському півострові. Вивчаючи вплив сірчистого газу і поліметалевого пилу на лишайники, він проаналізував стан ліхенофлори соснових лісів на різних відстанях, від комбінату "Североникель". Для цього на стовбурах дерев відзначали ділянки площею 100 см<sup>2</sup>, на яких підраховували кількість епіфітних лишайників і визначали їхній видовий склад. У фоновому районі, на відстані 60 км від комбінату, було виявлено 70 видів лишайників. Середнє сумарне покриття стовбурів дерев цими рослинами складало 11,2%, а кількість чистих, не зайнятих ними площ становила 13% від загального числа досліджених. Біля 30 км від комбінату середнє сумарне покриття зменшилося в п'ять разів, а кількість площ без лишайників збільшилося в чотири рази. Тут виявилось всього 22 види лишайників. У 15 км від джерела забруднення середнє сумарне покриття складало всього 0,01% значення, характерного для незабрудненого району, і 90% усіх досліджених площ виявилось не зайнятих лишайниками. Нарешті, у восьми кілометрах від комбінату знаходилася абсолютна "лишайникова пустеля".

Іноді стійкість лишайників до забруднення обумовлена зовнішніми умовами. Виявляється, що добре зволожена слань, страждає від забруднення більше, ніж малозволожена. Але іноді пояснення причини стійкості лишайника до забруднення потрібно шукати усередині самого лишайника. На основі індивідуальних особливостей лишайників було розроблено шкалу, що дозволяє установити рівень забруднення конкретного району за наявності або відсутності в ньому визначених видів лишайників. Прикладом може служити шкала полеотолерантності епіфітів, тобто стійкості до міських умов. Цю шкалу

склав Ханс Трас. Шкала включає десять класів. У 1-й, 2-й і 3-й класи входять лишайники, що живуть тільки в природних ландшафтах (у лісах, болотах, удалині від населених пунктів) і в слабо окультуреній місцевості (у лісових масивах поруч з населеними пунктами, лугах). У 4-й, 5-й і 6-й класи попадають лишайники, що більш-менш часто зустрічаються в помірковано окультуреному ландшафті (у селищах, малих містах, парках в околицях великих міст і на цвинтарях). Нарешті, класи 7, 8, 9 і 10 поєднують ті види лишайників, що поширені в сильно окультурених районах (у великих і середніх містах).

Іноді лишайникам допомагають вижити самі несподівані обставини. Так, краще виживають ті колонії, у розпорядженні яких більше живильних речовин. Помічено скупчення лишайників на краях міських дахів, де багато пташиного посліду, а також на гниючих гілках старих дерев. Важливим є і переважаючий в даному районі напрямок вітрів, який несе згубні гази і пил.

Ліхенологічні карти дозволяють спостерігати за змінами, що відбуваються у повітрі протягом 20-50 років. Ці методи вимагають не значних витрат і з успіхом можуть доповнити, а іноді і замінити більш точні фізико-хімічні методи дослідження повітря, для яких необхідне коштовне обладнання. Для складання карт необхідно досить повно вивчити ліхенофлору в досліджуваному районі. Припустимо, потрібно скласти опис епіфітних лишайників у якомусь парку. Для цього, рухаючись по алеї, описують ті лишайники, що ростуть по обох її сторонах на досліджуваних площах, на кожному п'ятому (або третьому або десятому) дереві. Дослідна площа обмежується на стовбурі дерев'яною рамкою, наприклад розміром 10x10 см, що розділена усередині тонкими дротиками на квадратики по 1 см<sup>2</sup>. Відзначають, які види лишайників зустрілися на ділянці, який відсоток загальної площі рамки займає кожен зростаючий там вид. Крім того, відзначають життєздатність кожного зразка: є чи в нього плодові тіла, здорова або хвора слань. На кожному дереві описують мінімум чотири пробні площі: дві при стовбурі (з різних його сторін) і дві на висоті 1-1,5 м. У цілому по алеї виходить значне число описів, а по всьому парку – ще більше. Одні карти відображають присутність якогось одного виду лишайників на даній території, інші надають додаткову інформацію про його присутність у різних точках, треті позначають кількість видів лишайників, що виростили у зоні дослідження.

Ліхеноіндикація – один з найважливіших і корисних методів екологічного моніторингу. Однак цей метод не завжди застосовують. Справа у тому, що лишайники, як і будь-які живі організми, відчувають зміни навколишнього середовища. Тому в природі часто не можна установити конкретну причину ушкоджень лишайників. Простий вплив температури або вологості може перебивати вплив забруднення, особливо якщо концентрація забруднюючих речовин невелика.

## **Лабораторна робота 16** **Оцінка якості бджолиного меду**

Мед є продуктом переробки бджолами нектару квіткових рослин. Нектар містить воду, фруктозу, глюкозу, невелику кількість органічних кислот,

ефірних олій, азотовмісних сполук, мінеральних речовин, тощо. Цей продукт використовують з лікувальною метою, оскільки в ньому гинуть дизентерійна та кишкова палички, стрептококи і стафілококи. Мед істотно може відрізнитися за такими властивостями як густина, колір, запах, смак.

Отже, бджоли можна використовувати, як екологічний індикатор стану забруднення навколишнього середовища. Досить поширеним явищем є фальсифікація меду, тому необхідно вміти визначати його якість та біологічну активність.

**Мета роботи:** набуття навичок у використанні меду, як екологічного індикатора стану забруднення навколишнього середовища.

**Матеріали і обладнання:** пробірки, мірні циліндри на 10 мл, скляні палички, ложечки, шпатель, хімічний олівець, фільтр, папір, лійки, предметні стекла і покривні скельця, мікроскоп, проби меду, дистильована вода, 5%-й розчин йоду, ацетатна та хлоридна кислоти, етанол, розчин  $\text{AgNO}_3$   $C = 0,1$  моль/л; діетиловий ефір; 1%-й розчин резорцину; розчин гліцерину з желатином, основний фуксин, 10%-й розчин меду.

#### **Хід роботи:**

1. Визначити механічні домішки меду.

У пробірку налити 2 мл меду, долити 5 мл дистильованої води. Мед розчиняється, а домішки осідають на дно або спливають на поверхню.

2. Визначити домішки борошна або крохмалю.

У пробірку до 2 мл меду і 5 мл дистильованої води додати розчин йоду. За наявності домішок борошна чи крохмалю розчин забарвлюється в синій колір.

3. Визначити домішки крейди.

До водного розчину меду додати кілька крапель ацетатної кислоти або оцту. За наявності крейди мед пініться (виділяється  $\text{CO}_2$ ).

4. Визначити домішки крохмальної патоки.

До водного розчину меду (1:2 чи 1:3) додати 96%-й етанол. За наявності патоки розчин набуває молочно-білого кольору, а після відстоювання на дні залишається напіврідка маса декстрину. За відсутності патоки розчин стає прозорим, а на межі "мед-спирт" утворюється невелика каламуть, яка при збовтуванні зникає.

5. Визначити домішки цукрового сиропу.

До 10%-го розчину меду додають  $\text{AgNO}_3$  або ляпіс. Поява білого осаду свідчить про наявність домішок.

6. Визначити домішки інертного цукру (реакція Саліванова).

До 5 г меду додають ефір (для зв'язування фруктози). Ефірний розчин профільтровують у фарфорову чашку, випарюють і до залишків додають 1%-й свіжоприготовлений розчин резорцину в концентрованій хлоридній кислоті. Поява оранжево-вишнево-червоного забарвлення свідчить про наявність інертного цукру.

7. Визначити зрілість меду.

Мед набрати на ложечку і обертати її навколо своєї осі. Зрілий мед намотується на ложечку і стікає з неї безперервними нитками; незрілий просто стікає з ложечки. Визначення слід проводити за температури 20°C, оскільки вона впливає на густину меду.

8. Визначити вологість меду (до 21,5% за стандартом)

Краплю меду нанести на папір і занурити у неї хімічний олівець. Якщо утворюється чорна пляма, то вологість меду висока, якщо ні – мед придатний до вживання.

### **Лабораторна робота 17** **Визначення рівня забруднення харчових продуктів і** **органічних субстратів нітратами**

*Нітрати* – невід'ємна біогеохімічна складова всіх наземних й водних екосистем, оскільки процес нітрифікації веде до утворювання окислених форм неорганічних сполук азоту і носить глобальний характер. Споживання нітратів рослинами є важливим елементом їх життєдіяльності, пов'язаним у першу чергу з синтезом білків. Безпосередню участь у цьому процесі приймає фермент нітратредуктаза. Накопичення нітратів в тканинах рослин має певну видоспецифічність. Концентраторами нітрат іонів є оріп, петрушка, капуста, огірки, кавун, диня. Найменша кількість нітратів знаходиться в поматах, часнику, зеленому горошку, винограді та яблуках тощо.

**Мета роботи:** планування експерименту, статистична обробка експериментальних даних і моделюванні процесу.

**Матеріали та обладнання:** ступки, предметні скельця, флакони об'ємом 5-10 мл, піпетки, скальпель, 1% розчин дифеніламіну у конц. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, розчин NaNO<sub>3</sub> для побудови каліброваної кривої, дистильована вода, нітрат-тестер СОЭКС, набір овочів.

#### **Хід роботи**

1. Зважити таку кількість NaNO<sub>3</sub>, щоб в 1 літрі води концентрація NO<sub>3</sub><sup>-</sup> відповідала 3000 мг/кг (молекулярна маса NaNO<sub>3</sub> – 85; молекулярна маса NO<sub>3</sub><sup>-</sup> – 62).

2. Отримати серію стандартних робочих розчинів методом розведення похідного розчину дистильованою водою, так щоб концентрація NO<sub>3</sub><sup>-</sup> поступово зменшувалась у 2 рази: 3000 – 1500 – 750 – 375 – 188 – 94 – 47 мг/кг.

3. Приготувати 1% розчин дифеніламіну у H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (загальний об'єм реактиву - 30 мл).

4. Розтерти рослинний матеріал у ступці. Процідити через марлю згорнуту в 3-4 шари. Отриманий сік рослин зцідити у чисті флакони.

5. На предметне скло нанести одну за іншою каплі робочих розчинів. Додати в кожную пробу каплю дифеніламіну. Спостерігати за реакцією. Для кожного варіанту визначити силу та динаміку хімічної реакції. Скласти таблицю відповідності за власними спостереженнями.

## Сила та динаміка хімічної реакції

Бал	Характер фарбування	Кількість нітратів, мг/кг
6	Реакція швидка і інтенсивна. Колір темно-синій, який з часом не зникає	3000
5		1500
4		750
3		375
2		188
1		94
0		0

6. Визначити вміст нітратів у овочах, користуючись власною таблицею. Побудувати послідовність досліджуваних овочів за ознакою поступового зменшення концентрації нітрат-іонів:

$$1 > 2 > 3 > 4 > 5 \dots$$

7. Порівняти отримані результати з показанням нітрат-тестера. Зробити висновки, щодо небезпечності перевірених продуктів, враховуючи, що ГПД (гранично припустима доза) для нітратів відповідає 5 мг на 1 кг маси дорослої людини на добу. Підрахувати для себе особисто максимально припустиму кількість нітратів.

8. Пояснити, які додаткові фактори можуть збільшити ризик отруєння людини через вживання великої кількості нітратів? Які заходи необхідно вживати для того, щоб зменшити негативні наслідки отруєння?

## Лабораторна робота 18

## Визначення вмісту нітратів в овочевих культурах за допомогою іонселективних електродів

*Нітрати* – солі азотної кислоти, які часто зустрічаються в навколишньому середовищі, головним чином у ґрунті та воді.  $\text{NO}_3^-$  не поглинається ґрунтом, тому більшість нітратного азоту перебуває в ґрунтовому розчині, легко рухомий і доступний для рослин. Нітрати входять до складу добрив, а також є природними компонентами харчових продуктів рослинного походження.

Для рослин нітрати не токсичні. У них вони накопичуються, коли поглинутий азот не повністю витрачається на синтез амінокислот і білків, тобто не всі нітрати відновлюються до аміаку. Концентрація нітратів у овочевих культурах залежить в основному від виду і сорту рослин, фази їх росту і розвитку вегетації, погодних умов у вегетаційний період, неконтрольованого використання азотних добрив. За ступенем накопичення цих сполук рослини розділяють на інтенсивно-акумуляуючі нітрати (злакові культури, хрестоцвіті, складноцвіті) і ті, що не мають такої здатності.

**Мета роботи:** визначення вмісту нітратів в овочевих культурах за допомогою іонселективних електродів.

**Матеріали і обладнання:** іономір (рН-метр), іонселективний нітратний електрод, електрод порівняння, 1%-ий розчин алюмокалієвого галуноу, набір стандартних розчинів  $KNO_3$ , екстрагент для хрестоцвітих овочевих культур (10 г алюмокалієвого галуноу розчиняють у воді в мірній колбі на 1 л, додають 1 г  $KMnO_4$  і 0,6 мл концентрованої  $H_2SO_4$ , об'єм доводять водою до риски).

З метою збільшення урожайності культур у ґрунт вносять підвищену кількість азотовмісних добрив. Це призводить до накопичення вмісту нітратів в рослинницькій продукції. Якщо овочі вирощені без додаткового внесення азотних добрив, вміст нітратів у них буде приблизно наступний (табл.):

Таблиця 2.8

**Показники нітратів у товарній частині рослин (за О.А.Соколовим, Т.В. Бубновою, П.А. Дмитренко), мг/кг сирової маси**

Рослини	Вміст	МДР	Рослини	Вміст	МДР*
Кавуни	40-600	60	Огірки	80-500	150
Баклажани	80-270	200	Перець солодкий	40-330	200
Дині	40-500	90	Салат	400-2960	2000
Капуста білокачанна	260-3000	500	Петрушка (зелень)	1700-2500	2000
Капуста салатна	1000-2700	2000	Буряк столовий	200-4500	1400
Кабачки	400-700	400	Селера	120-1500	2000
Картопля	40-980	250	Томати	10-180	150
Цибуля зелена	40-1400	600	Часник	40-300	60
Цибуля ріпчаста	500-900	80	Шпинат	600-4000	2000
Морква	160-2200	250	Щавель	240-4000	2000

\*- Максимально допустимий рівень

Найбільш високу здатність накопичувати нітрати мають хрестоцвіті, гарбузові, амарантові, в'юнкові, пасльонові. Найменша кількість нітратів міститься в томатах. У молодих рослинах нітратів на 50-70% більше, ніж у зрілих. У вегетативних органах їх вміст зростає у напрямі до коріння. Наприклад, у листках білокачанної капусти нітратів на 60-70% менше, ніж у качані. У листах салату їх на 40-50% менше, ніж у листових черешках.

Допустима (безпечна) добова доза надходження нітратів до організму людини -5 мг на 1 кг маси тіла. Дорослій людині масою 60-80 кг не повинно зашкодити здоров'ю близько 350 мг нітратів. За Держстандартом на питну воду, кожен літр її може містити до 45 мг нітратів.

**Суть методу.** Потенціометричний метод визначення нітратів у рослинницькій (овочевій) продукції базується на вилученні нітратів 1%-им розчином алюмокалієвих галунів з подальшим визначенням  $ri''Ю_3$  або ЕРС. Як екстрагент (компонент, за допомогою якого вилучають нітрати із овочевих культур) використовують розчин алюмокалієвих галунів, який має велику іонну силу. Потенціал іонселективного електроду в розчині алюмокалієвого галуноу

швидко відновлюється. Вміст нітратів визначають безпосередньо у розчинах або суспензіях. Із хрестоцвітих рослин (капуста, редька, редиска) їх екстрагують розчином алюмокалієвих галунів, перманганату калію і сірчаної кислоти.

**Увага:** іонселективні електроди непридатні для визначення вмісту нітратів, якщо вміст хлоридів у пробі перевищує у 50 разів.

#### **Хід роботи**

1. Для виконання аналізу згідно з інструкцією приготувати до роботи іономір (рН-метр), іонселективний нітратний електрод та електрод порівняння.

2. Калібрування приладу для визначення вмісту нітратів провести за допомогою зразкових  $1 \times 10^{-1}$ ,  $1 \times 10^{-2}$ ,  $1 \times 10^{-3}$ ,  $1 \times 10^{-4}$  М розчинів  $\text{NO}_3$  відповідно 1, 2, 3, 4.

3. Сиру наважку 12,5 г подрібнених овочевих культур (картопля, морква, буряк, томати, огірки) перенести у гомогенізатор, додають 25 мл 1% розчину алюмокалієвих галунів і гомогенізувати 1 хв, а потім за допомогою скляної палички утворену масу перемішувати протягом 5 хв. У суспензії або фільтраті визначити вміст нітратів. Після кожного визначення нітратів електроди споліскують дистильованою водою.

### **Лабораторна робота 19**

#### **Визначення забруднення пестицидами кормів методом тонкошарової хроматографії**

Об'єктом згубного впливу на біоценози є токсиканти, які реалізують свою дію через вплив на біологічні організми у довкіллі. Токсикантом є чинник з притаманними лише йому фізичними, хімічними, фізико-хімічними та медико-біологічними властивостями, які викликають патологічні зміни до розвитку незворотних уражень органів чи екологічних систем.

Під час проведення екотоксикологічних досліджень встановлено основні показники токсичності можливого шкідливого впливу потенційного токсиканту, до яких належить:

- граничнодопустима концентрація (ГДК) – норматив, що регламентує безпечно для людини забруднення довкілля токсикантами і є критерієм оцінки стану повітря робочої зони, атмосфери, води, ґрунту та продуктів харчування;
- орієнтовно-безпечний рівень впливу токсиканту у повітрі та воді визначається розрахунковим методом на 2-3 роки;
- допустимі залишкові кількості токсикантів у харчових продуктах - максимальна кількість речовин, надходження яких в організм упродовж всього життя не викликає жодних порушень здоров'я людини.

**Мета роботи:** ознайомлення з видами отруєнь і виявлення різних ознак інтоксикації організму. Розрахунок летальної, середньо смертельної і смертельної дозу токсичної речовини. Основні методи детоксикації організму.

*Принцип методу* заснований на витяжці препарату із проби водою та подальшим вилученням із води органічним розчинником, хроматографованим у тонкому шарі.

**Матеріали і обладнання:** хлороформ, рухомий розчинник н-гексан - ацетон, 1% резорцин і 10% КОН. Зразки трави, силосу та інших видів кормів.

Таблиця 2.9

### Класифікація речовин за їх небезпечністю

Показник токсичності	Норма для класу небезпечності			
	I. Надзвичайно небезпечні	II. Високо-небезпечні	III. Помірно-небезпечні	IV. Мало-небезпечні
ГДК в робочій зоні, мг/м	< 0,1	0,1-1,0	1,1-10,0	> 10,0
Середня смертельна доза, мг/кг при введенні в шлунок надшкірна	< 15 < 100	15-150 100-500	151-5000 5001-25000	>5000 >2500
Середня смертельна концентрація, мг/м <sup>3</sup>	< 500	501-5000	5001-50000	> 50000

### Хід роботи

Із можливо забруднених зразків (трава, силос та ін.) взяти наважку 20 г, збовтати протягом 20 хв в 100 мл дистильованої води. Другий раз екстрагувати в 70 мл води. Водні розчини об'єднати у розподільчій воронці, додаючи 1 г повареної солі, екстрагувати три рази хлороформом по 50 мл, витяжки обезводнити безводним сірчаноокислим натрієм, фільтрувати і випарити. Сухий залишок розчинити у 0,2-0,5 мл хлороформу, нанести на пластинку і хроматографувати. Край пластинки з нанесеними розчинами повинен бути занурений у розчинник (бензол) не більш, ніж на 0,5 см. Після того, як фронт розчинника підніметься на 10 см, пластинку вийняти із камери і залишити на кілька хвилин для випаровування розчинника. Пластинку знову помістити у камеру для хроматографування з рухомим розчинником (суміш гексана з ацетоном 1:1) і провести хроматографування, як вказано вище. Висушену пластинку обприскати проявляючим розчином.

### КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Дати визначення, що таке біогеотехнологія.
2. У якому столітті зародилася біогеотехнологія?
3. Якою датою вважають зародження біогеотехнології як науки?
4. Що таке біогеотехнологія вилуговування металів?
5. Які мікроорганізми застосовують при вилуговування металів?
6. Що являє собою біогеотехнологія десульфурування вугілля?
7. Яка роль біогеотехнології у боротьбі з метаном у вугільних шахтах?
8. Назвіть метанокислюючі бактерії.
9. Які групи мікроорганізмів використовують для збільшення вторинного видобутку нафти?
10. Чи пов'язана біогеотехнологія з геологічною мікробіологією?



### РОЗДІЛ 3. БІОКОНВЕРСІЯ ВІДХОДІВ

#### ТЕМА 5. ОТРИМАННЯ БІОГАЗУ. ВЕРМИКОМПОСТУВАННЯ ОТРИМАННЯ БІОГАЗУ

Деградація органічних речовин при метаногенезі здійснюється як багатоступінчатий процес, в якому вуглецеві зв'язки поступово руйнуються під дією різних груп мікроорганізмів. Згідно сучасним переконанням, анаеробне перетворення практично будь-якої складної органічної речовини на біогаз проходить через чотири послідовні стадії:

- стадія гідролізу складних біополімерних молекул (білків, ліпідів, полісахаридів і ін.) на простіші мономери: амінокислоти, вуглеводи, жирні кислоти і др.;

- стадія ферментації (бродиння) мономерів, що утворилися, до ще простіших речовин - нижчих кислот і спиртів, при цьому утворюються також вуглекислота і водень;

- ацетогенна стадія, на якій утворюються безпосередні попередники метану: ацетат, водень, вуглекислота;

- метаногенна стадія, яка веде до кінцевого продукту розщеплювання складних органічних речовин - метану.

На першому етапі анаеробного зброджування відбувається ферментативне гідролітичне розщеплювання органічних речовин широким спектром гідроліз-ферментів, що виділяються в середу анаеробними бактеріями і отримали назву бактерій-гідролітиків. Під дією гідролітиків високомолекулярні з'єднання (полісахариди, жири, білкові речовини) трансформуються в низькомолекулярні. Останні під дією кислотогенних бактерій (другий етап) перетворюються на летючі жирні кислоти, органічні кислоти, спирти, альдегіди, аміак, сірководень, двооксид вуглецю, водень і воду. Органічні кислоти, що утворилися, за винятком оцтової і мурашкової, під дією особливої групи бактерій-ацетогенів – перетворюються на оцтову і мурашину кислоти, водень і ін. В результаті перших трьох етапів – гідролітичного, кислотного і ацетогенного – в середовищі накопичується оцтова і мурашина кислоти, метиловий спирт, метиламін, водень, оксид і двооксид вуглецю, аміак, сірководень, оксид фосфору. Вказані з'єднання є основними субстратами для енергетичного обміну речовин особливої групи анаеробних бактерій, які вінчають складний процес розпаду біополімерів в анаеробних умовах, схемний (рис. 3.1).

Слід зазначити, що між стадіями гідролізу і бродіння немає чіткої межі, оскільки зазвичай мікроорганізми, що володіють гідролітичною активністю, використовують продукти гідролізу розщеплених ними з'єднань для свого зростання. На рис. 3.2 представлена схема метаногенезу, яка відображає потоки вуглецю при деградації складних органічних речовин. Ключовою реакцією, що визначає швидкість всього процесу, є реакція перетворення ацетату в метан при зброджуванні відходів, що містять полімери, лімітуючою є і стадія гідролізу.

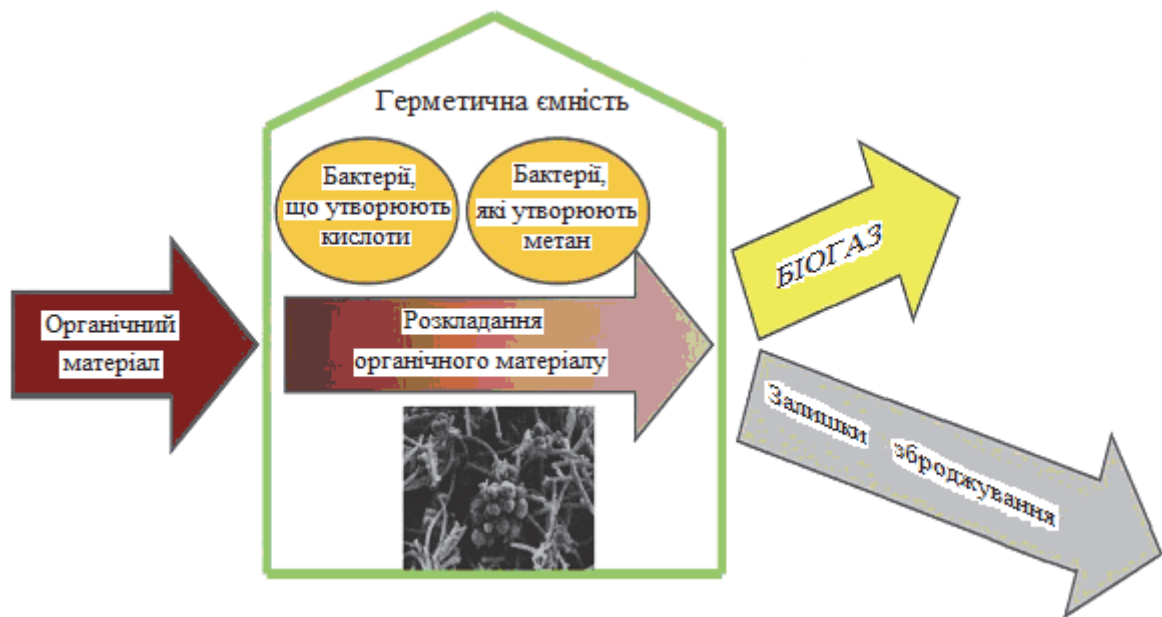


Рис. 3.1. Примітивна схема метаногенезу (за Ю. В. Куріс, 2013)

Весь цей складний комплекс перетворень здійснює велика кількість мікроорганізмів, по деяких оцінках – до декількох сотень видів, серед яких переважають бактерії. Кількісний і якісний склад мікрофлори сильно залежить від складу зброджуваних органічних речовин і умов, які створюються в навколишньому середовищі. Проте, переважаючими групами мікроорганізмів є гідролітичні, бродильні, синтрофні і метанові, послідовно здійснюючі перераховані вище стадії анаеробного бродіння, при використанні різних субстратів деякі з них показані на рис. 3. являють до умов свого існування значно вищі вимоги, ніж кислотоутворюючі – вони потребують абсолютно анаеробного середовища і вимагають тривалішого часу для відтворення.

У метаногенному співтоваристві між групами мікроорганізмів існують тісні і складні взаємозв'язки, у тому числі і зворотні. Зважаючи на субстратну специфічність метаногенів, їх розвиток неможливий без трофічного зв'язку з бактеріями попередніх стадій. У свою чергу, метанові бактерії, використовуючи речовини, що продукуються первинними анаеробами, визначають швидкість реакцій, здійснюваних цими бактеріями. Діяльність співтовариства можна розглядати як єдине ціле, регуляція в якому має аналогії в багатоклітинних організмах. На рис. 3.3 представлена запропонована Г. А. Заварзіним схема, що детально описує трофічні зв'язки між різними групами мікроорганізмів і їх взаємні регуляції при анаеробній деградації органічних речовин метановим біоценозом.

Первинні анаероби здійснюють розкладання органічних речовин до попередників метану: водню і вуглекислоти, ацетату, метанолу, метиламідів, форміату. Зважаючи на субстратну специфічність метаногенів, їх розвиток без трофічного зв'язку з бактеріями попередніх стадій неможливий. У свою чергу, метанові бактерії, використовуючи речовини, що продукуються первинними анаеробами, визначають можливість і швидкість реакцій, здійснюваних цими бактеріями.

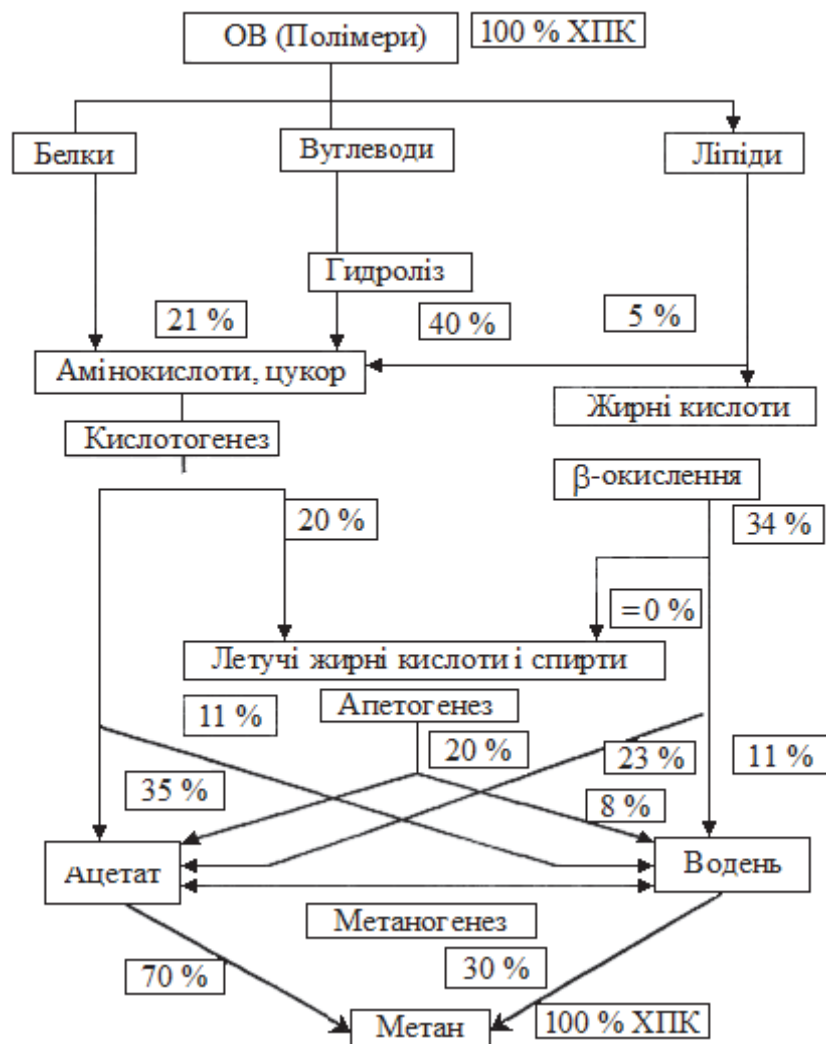


Рис. 3.2. Повна схема метаногенезу (за Ю. В. Куріс, 2013)

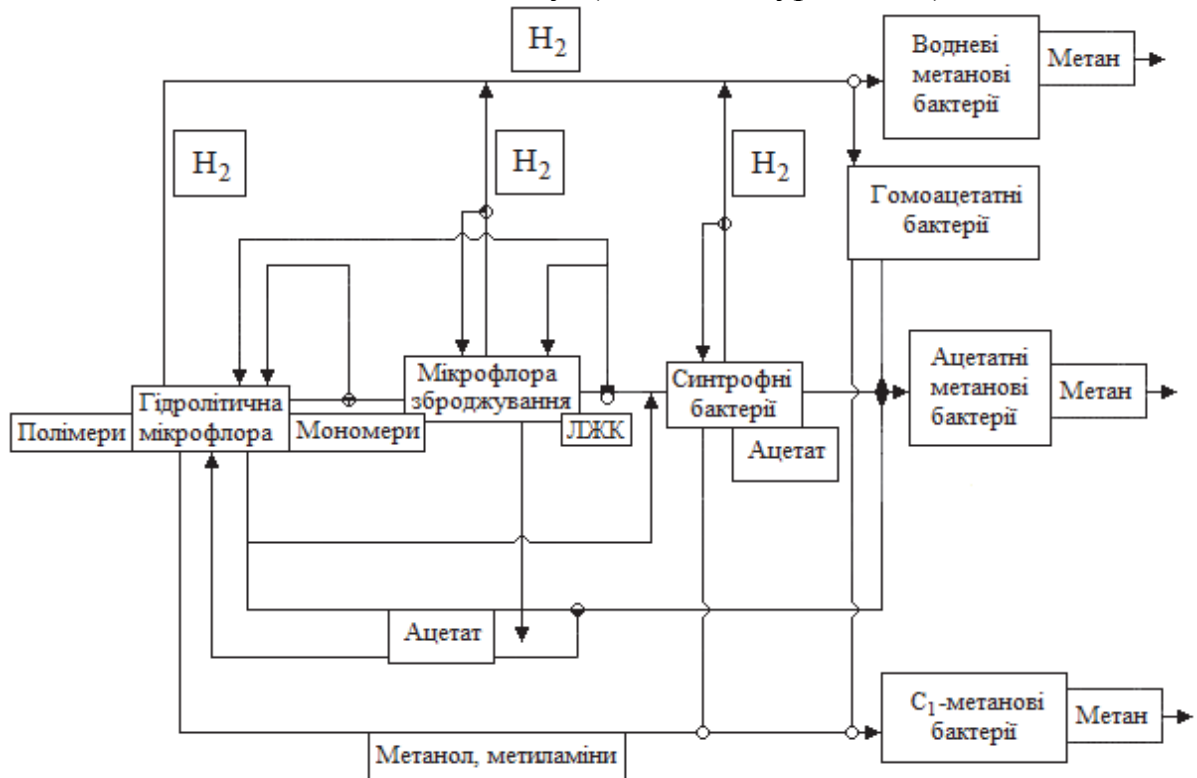


Рис. 3.3. Схема дії мікробного співтовариства (за Заварзінім, 2009).

Центральним метаболітом, що здійснює регуляторну функцію в метаноутворюючому співтоваристві, є водень. За рахунок підтримки низького парціального тиску водню в системі стає можливим його міжвидове перенесення, що міняє метаболізм первинних анаеробів у бік утворення безпосередніх попередників метану. Якщо водень з системи не видаляється, то утворюються більш відновлені продукти – летючі жирні кислоти і спирти. Метаболізм цих з'єднань здійснюється синтрофними синтрофними бактеріями, для життєдіяльності яких скріплення водню, що утворюється метановими бактеріями, необхідне. Перша фаза процесу анаеробного розкладання органічних сполук здійснюється гідролітичною і бродильною мікрофлорою. Основними природними полімерами є полісахариди, в першу чергу целюлоза, ксилан, крохмаль, пектин, а також білки, пептиди, нуклеїнові кислоти, фосфоліпіди. В цьому відношенні найбільш сприятливими є стоки, розчинені органічні речовини, що містять тільки. Якщо ж стоки містять зважені речовини, то їх гідроліз може стати лімітуючою стадією всього процесу анаеробної обробки. Стосовно обробки гною і гнойових стоків, в яких завжди є зважені речовини, це означає, що у всіх випадках гідроліз є лімітуючою стадією. Група ацетат використовуючих метаногенів є найбільш важливою для метаногенезу з органічних субстратів, оскільки при зброджуванні гною з ацетату, як проміжного продукту, утворюється більше 70 % метану. Розкладання ацетату з утворенням метану і вуглекислоти здатні здійснювати представники тільки двох пологів Метаносарцина і Метанотрікс. Метаносарцини схильні до вищих концентрацій ацетату і, як правило, виявляються в метантенках з високою швидкістю процесу, але не з глибоким зброджуванням субстрату. Метанотрікси мають велику спорідненість до ацетату і здатні використовувати його в концентраціях в 5 разів нижче, ніж метаносарцина. Ацетат, також як і водень, грає важливу регуляторну роль в співтоваристві. Метаногенне співтовариство функціонує з найбільшою швидкістю при збалансованій чисельності бактерій в різних групах. Найбільша швидкість процесу досягається, коли чисельність метанових бактерій достатня для підтримки низької концентрації водню і ацетату. Швидкість росту метанових бактерій на порядки нижча, ніж первинних анаеробів. Особливо поволі ростуть ацетатвикористовуючі метанотрікси. У мезофільного метанотрікса час подвоєння 200-300 годин, у термофільного - приблизно в 5 разів менше. Поволі ростуть синтрофні бактерії, їх час подвоєння оцінюється приблизно о 100 годині. Мікрофлора бродіння або необлігатні протонвідновлювальні бактерії споживають продукти гідролізу і мономірні з'єднання, присутні в початковому субстраті. Ця мікрофлора не здібна до гідролізу і використовує тільки низькомолекулярні речовини, часто присутні в малій концентрації. Продукти обміну у бактерій двох перших груп приблизно одні і ті ж: водень, вуглекислота, летючі жирні кислоти, спирти, ацетат. По утворюваних продуктах ця перша фаза бродіння, здійснювана первинними анаеробами, отримала назву кислотогенною або водневою. Розкладання летючих жирних кислот і спиртів здійснюють синтрофні або

протоновідновлювальні бактерії. Продуктами життєдіяльності синтрофних асоціацій є ацетат і метан, що утворюється з водню і вуглекислоти метановими бактеріями. При проходженні зброджуваної маси по технологічній лінії відбувається розвиток необхідної мікрофлори. У мікрофлорі гною міститься необхідний набір мікроорганізмів для розвитку метаногенезу. Метаногенні співтовариства природних екосистем розвиваються і складаються в процесі еволюції, і пристосування до змінних умов відбувається за тривалі проміжки часу. У штучних спорудах для анаеробної обробки відходів також відбувається розвиток метаногенного співтовариства, яке врешті-решт стає спеціалізованим для даного субстрату і фізико-хімічних умов середовища. Тому основною вимогою до технологічних схем і конструктивних вирішень біогазових установок повинна бути їх здатність забезпечити збалансований розвиток метаногенного співтовариства. Стосовно анаеробної обробки гною, що має широкі межі зміни фізико-механічних властивостей і складу, це може бути досягнуто при застосуванні наступних схем і конструктивних вирішень реакторів. При обробці підстилкового або напіврідкого гною з вологістю менше 90 %, проходження стадії гідролізу має першорядне значення. Для її здійснення заздалегідь розбавляють гній водою або рідкою фракцією збродженого гною. Основною передумовою безперешкодного протікання процесу бродіння органічних відходів з високим вмістом сухої речовини є повне занурення твердих частинок в рідину. Як ця рідина може бути використана гнойова рідота, рідка фракція збродженого гною або вода з добавкою закваски. Найбільш ефективно зброджування підстилкового гною досягається при застосуванні схеми з рециркуляцією рідини, що отримується після розділення збродженого гною на фракції. Технологічний процес здійснюється таким чином. Спочатку запуску біогазової установки твердий гній завантажують в метантенк і розбавляють водою до вологості 90-91 %, при якій виходить найбільше газовиділення. Надалі воду не додають. Під час бродіння, сухе органічні речовина розпадаючись, перетворюється в біогаз; при цьому відбувається поступове зниження кількості сухої речовини і, отже, підвищується вологість зброджуваного гною. У подальшому після додавання твердого гною у необхідній кількості і розподіли його рівномірно за всім обсягом метантенка, вологість зброджуваного гною знижується до первинної. Для зброджування рідкого гною з метою поліпшення умов проходження стадій гідролізу, доцільно застосовувати попередній нагрів гною. Згідно схеми, гній заздалегідь нагрівається в установці для контактного нагріву до температури вибраного режиму зброджування витримується в проміжній ємкості і тільки тоді подається в метантенк. Цим методом здійснюється потрібна підготовка гною до зброджування і виключається можливість негативної дії на життєдіяльність метаноутворюючих бактерій, оскільки температура гною, що поступає, приймається рівній температурі гною в метантенку. В цьому випадку застосування попереднього нагріву дозволяє забезпечити ефективно проведення гідролізу початкового гною і підготувати його для використання синтрофними і метаногенними бактеріями. В результаті досягається значне

підвищення інтенсивності бродіння і, отже, виходу біогазу. При зброджуванні напіврідкого і рідкого гною останню обставину має першорядне значення, оскільки компенсувати втрати активної біомаси можна завжди шляхом збільшення тривалості обробки. У такому гної є достатня концентрація органічних речовин для розвитку нових синтрофних і ацетатвикористовуючих бактерій. Проте для зброджування гнойових стоків і продуктів їх обробки (фугату, мулу, опадів відстійників), у складі яких є незначна кількість органічних речовин, необхідні реактори, що використовують принцип утримання активної біомаси ( анаеробні біофільтри або контактні реактори з рециркуляцією осаду). У цих реакторах збалансований розвиток метаногенного співтовариства забезпечується за рахунок різних насадок, що утримують біомасу або пристроїв для її рециркуляції. Проте питання застосування найбільш ефективного матеріалу до цих пір не досліджене. Освітлений стік, проходячи послідовно через 4 секції, в яких розташовані носії, зброджується, внаслідок чого виходить біогаз і очищений від органіки стік. Це також одне з перспективних рішень для отримання біогазу в технологіях очищення гнойових стоків, яке до цих пір не досліджене. Застосування розглянутих вище технологій для отримання біогазу з гною різного вигляду і складу дозволяє забезпечити оптимальний зміст летючих жирних кислот (50-500 мг/л), необхідний для активної збалансованої життєдіяльності мікробного співтовариства в реакторах при певних температурних режимах. Технологічне устаткування для здійснення такої технології. У практиці анаеробної обробки гною зазвичай застосовують два режими метаногенезу: мезофільний при 35-40 °С і термофільний при 50-55 °С. У цих межах знаходиться температурний оптимум розвитку більшості представників основних груп мезофільних і термофільних анаеробних бактерій, що беруть участь в розкладанні складних органічних речовин з утворенням метану в рубці жуйних, шлунково-кишковому тракті моногастричних тварин, метантенках, мулах прісноводних водоймищ, ґрунті. При зброджуванні свіжого гною КРС спонтанною мікрофлорою виявляються два чіткі максимуми утворення метану при 37-40 °С і 50-52 °С. Активні термофільна і мезофільна мікробні асоціації з гною КРС можуть бути отримані достатньо легко при дотриманні строгого анаеробіозу, постійності температури в умовах періодичного процесу, коли порція свіжого субстрату подається після того, як спостерігається помітне зниження швидкості утворення метану. Для мезофільного співтовариства з гною КРС оптимальною є температура 39-40 °С, при цьому швидкість утворення метану на 20-30 % вища, ніж при 35 °С. Це підтверджується навіть при дослідженні проб збродженої маси з метантенків, що постійно працюють при температурі 35 °С. Тому вибір температурного режиму зброджування не слід пов'язувати з умовами активної метаногенерації. Він може бути зроблений на основі порівняння технічних показників виробництва біогазу (продуктивності і витрат теплової енергії на забезпечення процесу). Як такий критерій може бути кількість додаткової товарної енергії, отриманої при обробці гною рівного

об'єму з однаковими властивостями при різних температурних режимах, – термофільному, мезофільному або психрофільному.

## **ОСНОВА ОРГАНІЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА ВЕРМИКОМПОСТУВАННЯ**

Вермикультура (від лат. Vermis – черв'як) – це промислове розведення черв'яків для поліпшення ґрунту та підвищення врожайності. «Плуг належить до найдавніших винаходів, задовго до цього винаходу, ґрунт правильно обробляли хробаками» – так писав Ч. Дарвін. Вермикомпост (біогумус) ефективно використовується для підвищення родючості виснажених малопродуктивних ґрунтів і для одержання екологічно чистої сільгосппродукції.

Гумус (від лат. Humus – земля, ґрунт) – органічна речовина ґрунту, що утворюється за рахунок розкладання рослинних і тваринних залишків і продуктів їх життєдіяльності мікробами ґрунту. Гумус складається з гумінових кислот, фульвокислот, гуміну та ін. Він містить елементи живлення рослин і є основним показником родючості ґрунту.

Біогумус – унікальне мікробіологічне добриво, в якому мешкає корисне співтовариство ґрунтових мікроорганізмів, що створюють родючість земель. Біогумус не містить патогенну мікрофлору, яйця гельмінтів, насіння бур'янів і важкі метали.

За нестачі кисню гумус накопичується (анаеробний процес), а за надлишку кисню, зокрема при постійному переорюванні ґрунту – окислюється і вивітряється.

Головні умови накопичення гумусу – маса органіки і достатній анаеробний шар. Такі умови створюються в компостних купах, високих грядках і при постійному поверхневому мульчуванні ґрунту органікою. Гумус забарвлює ґрунт в чорний колір, що сприяє прогріванню. Він утримує величезну кількість води, підвищуючи вологемність ґрунту, створює грудкувату структуру ґрунтів. Піщаним ґрунтам він надає зв'язність, глинистим – рихлість.

В результаті розчинення гуміновими кислотами і вуглекислою мінералів рослини отримують органічні солі – хелати (калію, магнію, молібдену, цинку, міді, заліза тощо). Які є елементами їх харчування, стимулюючими розвиток рослин і підвищення імунітету. Гумус реагує як на надлишок, так і на дефіцит різних солей, кислотність або лужність, пов'язує шкідливі іони і речовини.

Гумус – це «хліб для рослин». У ньому зосереджено 98% запасів ґрунтового азоту, 60% фосфору, 80% калію і містяться всі інші мінеральні елементи живлення рослин в збалансованому стані і головне – за природної технології.

ґрунти, заражені радіонуклідами, але оброблені біогумусом, дають рослинну продукцію практично вільну від них, тому гумати важких металів не розкладаються кореневою системою рослин і не використовуються в якості елементів живлення для них.

Процес формування родючого шару землі неможливий без земляних черв'яків. Черви переробляють будь-які органічні відходи, найпростіших одноклітинних, нематоди, бактерії, гриби, різні мікроорганізми, залишки рослинного і тваринного походження. У природі немає інших таких потужних гумусоутворювачів. Створити гумус іншими способами поки неможливо.

Земляні хробаки найдавніші тварини на землі! Їх корисна діяльність, що сприяє поліпшенню родючості ґрунтів, відома ще з давніх часів.

Черви відіграють дуже важливу роль в агроєкосистемах. Результатом їх життєдіяльності є прискорення ферментації (розкладання органічних залишків), внесення поживних елементів, формування перегною, прискорення кругообігу азоту і структурне формування ґрунту. Нори дощового черв'яка сприяють росту коренів рослин та проростання їх на велику глибину до водоносних шарів, ґрунтовому газообміну і дренажу ґрунтів.

Черви переробляють органіку – гній або компост набагато швидше і ефективніше, ніж ґрунтові мікроорганізми. Дощові черв'яки перетравлюють велику кількість рослинних залишків. Вони виділяють купки землі, що називаються копролітами, які містять велику кількість гумусу, власної мікрофлори, амінокислот, ферментів, вітамінів та інших біологічно активних речовин.

Поглинаючи разом з мінеральною частиною ґрунту величезна кількість мертвих рослинних залишків (післяжнивних, кореневих, опалого листя), мікробів, грибів, водоростей, нематод тощо, черв'яки знищують і перетравлюють їх. У травному тракті хробаків формуються гумусні речовини. Ґрунт знезаражується і набуває приємного запаху землі. У копролітах (калових масах) хробаків природних популяцій міститься 11-15% гумусу на суху речовину, а в копролітах культивованих хробаків вміст гумусу вдвічі більше і становить від 25 до 35% на суху речовину. Земляні хробаки збільшують кількість азоту в ґрунті у мінеральному вигляді, витягуючи його з органіки.

Популяція дощового черв'яка зазвичай значно знижується на оброблюваних полях на відміну від пасовищ або незайманих земель. У Південній Африці популяція хробаків виду *Lumbricids* зменшилася втричі вже на наступний рік після культивування незайманою землею. Як корм при розведенні черв'яків використовуються гній і послід, які в рідкому вигляді є шкідливими відходами з екологічної точки зору.

До складу корму для черв'яків повинні входити білки, вуглеводи, мінеральні речовини, вітаміни. Як джерело азоту сприятливою їжею для хробака визнана тверда фракція гною. Найбільшою є потреба черв'яків в азотвмісних органіці. У багатому азотом субстраті швидкість росту і плодючість хробаків різко підвищуються.

Дослідженнями встановлено, що кожен черв'як, риючись у ґрунті, щодня пропускає через себе таку кількість ґрунту, змішаної з залишками рослинних тканин, скільки важить сам. Середня вага хробака дорівнює 0,5 г. При щільності популяції хробаків у ґрунті 50 особин на один квадратний метр, вони пропускають через свій травний канал щодня 25 г ґрунту, перетворюючи його в



копроліти, або 250 кг на 1 га на добу. У середньому черв'яки працюють 200 днів у рік і пропускають через себе за цей час 50 т ґрунту, збагачуючи цю кількість гумусом на 15%. Смакові якості різних типів органічних відходів для хробаків можуть залежати від вмісту азоту, вуглеводів і присутності поліфенолів (рід танинів). Земляним хробакам подобається корм з низьким відношенням С:N, типу конюшини. Черв'яків також приваблює колонізація органічних останків мікроорганізмами.

Сприятливі і несприятливі умови для життя черв'яків. Найважливішою умовою для життя черв'яків є достатня вологість. Вологість нижче 30-35% гальмує їх розвиток, а за вологості 22% вони гинуть протягом тижня. При вирощуванні дощових черв'яків оптимальною є вологість 70-85%, тобто близька до вмісту води в тілі хробака. У середовищі з кислотністю нижче рН 5 або вище рН 9 всі черв'яки гинуть протягом тижня. Оптимальним для хробаків є нейтральне середовище з рН 7. Як правило, за температури + 5 °С черв'яки звільняють кишечник і не харчуються. Вони йдуть у більш глибокі шари ґрунту і впадають «у сплячку». Навесні черв'яки прокидаються за 1,5-2 тижні до відтавання ґрунту (зникнення мерзлого шару). Концентрація солей більше 0,5% смертельна для хробаків. Однак черв'яки переносять підвищені концентрації вуглекислого кальцію, вуглекислого заліза, сірчано-кислого алюмінію, хлорного заліза. Вага хробаків становить від 50 до 72% всієї біомаси: їх загальна кількість в ґрунті до хімізації становила від 500 тис. до 20 млн. особин на гектар, а вага біомаси їх від 250 кг до 10 тис. кг на гектар. Це в десятки разів більше, ніж вага наземних тварин на тій же площі!

## Лабораторна робота 20

### Приготування субстратів для вермикомпостування

*Компостування* – це екзотермічний процес аеробного біологічного розкладу відходів в умовах підвищеної температури та вологості. У процесі біодеградації органічний субстрат піддається фізичним та хімічним перетворенням з утворенням стабільного гуміфікованого кінцевого продукту, який використовується у сільському господарстві як добриво та як засіб, що покращує структуру ґрунтів, підвищує їх стійкість до ерозії. *Відходи*, що піддаються компостуванню: міське сміття, гній тваринницький ферм, відходи рослинництва, сирий активний мул тощо.

1. Ознайомлення з методологією розрахунків за прикладом.
2. Розв'язання задач за наведеним прикладом.
3. Наведення порівняльної характеристики отриманих результатів досліджень з загальноприйнятими.

**Мета роботи:** отримати практичні навички з виконання підготовки компостів. Субстрати готують з різних відходів, як сільськогосподарського, так і промислового виробництва. Для приготування субстратів використовують:

- практично всі види гною і пташиного посліду;
- відходи рослинництва (соллома, лузга соняшника і кукурудзи, лляна костриця, стебла соняшника і кукурудзи, качани кукурудзи, відходи комбікормових заводів, листя дерев, гичка);

- побічні продукти м'ясної промисловості, мули стічних вод м'ясокомбінатів, відходи масложиркомбінатів;
- відходи консервної, рибної, крохмальної промисловості;
- органічні відходи текстильної промисловості;
- відходи пивоварної промисловості;
- торф, стружки листяних (не хвойних!) порід, картон, папір;
- органічну частину побутового сміття, мулу комунальних стоків.

Для отримання якісного субстрату висувається ряд певних вимог:

- вологість 70-80%; кислотність, рН-6,8-7,2;
- вміст протеїну не більше 30%;
- вміст целюлози не менше 20%;
- вміст оксидів заліза не більше 10%; в субстраті мають бути відсутні каміння, метал, скло.

Оптимальним субстратом для вермикомпостування є гній коней. Завдяки високому вмісту соломи, тобто целюлози, його можна використовувати як для базового субстрату, так і для підживлення в зимовий період. Середній час ферментації, необхідний для доведення величини рН до прийнятного значення, складає 5-6 місяців (таблиця 5.1). Коров'ячий гній може також слугувати матеріалом для вермикомпостування. Його можна з успіхом використовувати для приготування базового субстрату і для підгодівлі при розведенні черв'яків. Рекомендована тривалість періоду ферментації – не менше 6 місяців.

Таблиця 3.1

### Склад субстрату і строки ферментації

Вид субстрату	Кількість добавок: а) необхідних б) можливих	Час ферментації, місяців	Примітка
Кінський гній	б) овочеві відходи, свіжа гичка, зелена маса бур'янів до 50%	5-6	Містить значну кількість целюлози рН(H <sub>2</sub> O) = 7,9-8,1
Гній великої рогатої худоби	а) 20-25% подрібненої соломи або стружки листяних порід, лузги соняшника, стебел кукурудзи, лляної костриці	6-8	Високий рН (8,1-8,4)
Свинячий гній	а) до 30% подрібненої соломи	9-10	Велика кількість протеїну і низький рН
Овечий гній	а) рясне зволоження і перемішування	6-8	Високий рН (7,9-8,1)
Кролячий гній	б) стружки деревних порід 10-15%	3-5	Високий рН
Курячий послід	а) Подрібнена солома – 20%, торф – 10%, б) картон, папір – до 10%	11-12	Низький рН

Телячий гній якісний матеріал і за своїми характеристиками подібний до коров'ячого. Проте його рекомендується піддавати хімічному аналізу на вміст

протеїну, не засвоєного тваринами. На тваринницьких фермах широко використовують корми з високим вмістом протеїну, який не повністю засвоюється тваринами. В екскрементах його лишається 30-35%. Овечий гній досить добрий продукт. Його вік складає від 1 дня до 8 місяців. Цей гній збирають лише один раз на рік (у квітні-травні), коли стада полишають свої зимові укриття. Він являє собою шар товщиною 80-90 см, ущільнений і затверділий під впливом маси овець. Перш, ніж укласти в бурти на території господарства, його ретельно промивають протягом декількох днів підряд, добре перемішуючи, для рівномірного розділення кислотності. Потім його складають в бурти середньої висоти (40-50 см), так як при цьому він краще промивається дощовою і поливною водою. Після цього гній витримують від 4 до 5 місяців до дозрівання. Свиначий гній у природному вигляді використовувати не рекомендується через велику кількість протеїну і низький рН. Необхідно додавати до 30% подрібненої соломи або інших целюлозовмісних матеріалів і витримати 9-10 місяців, щоб незасвоєний свинями протеїн пройшов ферментацію.

Кролячий гній являється високоякісним кормом для черв'яків. При використанні в чистому вигляді відразу ж після вилучення з-під решіток крольчатників його спочатку попередньо обробляють і насичують киснем. Без цього давати його черв'якам не можна. Пташиний послід має сильну кислотність і може бути використаний лише через 10-12 місяців ферментації.

### Хід роботи:

Розрахувати склад субстрату для вермикультури на основі відходів (див. індивідуальні завдання) з додаванням гною та інших необхідних добавок (таблиці 3.3, 3.4, 3.5, 3.6). Базовий субстрат має відповідати таким вимогам: кислотність, рН 6,8-7,2; вміст протеїну не більше 30%; вміст целюлози не менше 20%. Вміст сухої речовини у соломі 84,6%, стебла кукурудзи – 21,8%, гичці буряків - 15%, картоплинні – 19,2 %.

Таблиця 3.2

### Індивідуальні завдання

Варіант	Відходи	Варіант	Відходи
1	Кров'яне борошно	11	Кукурузна мука
2	М'ясне борошно	12	Соняшниковий шрот
3	М'ясо-кісткове борошно	13	Ріпаковий шрот
4	Кісткове борошно	14	Соевий шрот
5	Рибне борошно (жирне)	15	Пшенична солома
6	Рибне борошно (нежирне)	16	Житня солома
7	Ляна макуха	17	Стебла кукурудзи
8	Соняшникова макуха	18	Гичка буряків
9	Ріпакова макуха	19	Картоплиння
10	Соева макуха	20	Ляний шрот

Таблиця 3.3

## Хімічний склад відходів рослинництва, % на суху речовину

Складова	Солома		Стебла кукурудзи	Гичка буряків	Картоплиння
	житня	пшенична			
Органічна речовина	95,4	91,4	91,7	78,5	78,9
Сира клітковина	47,5	45,5	33,3	11,5	23,8
Сирий жир	1,5	1,6	1,7	1,5	3,2
Сирий протеїн	2,9	2,9	7,5	12,5	14,6
Лігнін	17	17	5,5	-	-
Співвідношення C:N	110	125	46	18	17
Азот	0,46	0,46	1,20	2,00	2,34
Фосфор	0,12	0,09	0,11	0,26	0,20
Калій	0,88	0,79	2,32	3,57	1,67
Кальцій	0,19	0,14	0,19	1,40	2,57
Магній	0,06	0,07	0,30	0,60	0,83

Таблиця 3.4

## Хімічний склад гною с/г тварин і птиці, % на суху речовину

Складова	ВРХ	Свині	Кури
Органічна речовина	80	81	77
Сира клітковина	30,3	20,5	15,0
Сирий жир	3,9	3,8	3,4
Сирий протеїн	15,7	18,4	32,5
Лігнін	19	-	11,6
Співвідношення C:N	13	12	12
Азот	5,7	5,2	3,9
Фосфор	0,5	2,1	1,8
Калій	2,4	1,9	2,1
Кальцій	2,5	-	8,6
Магній	-	-	1,0

Вміст сухої речовини у гної великої рогатої худоби 22,7%, свиней – 27,6, курячому посліді – 44%.

Таблиця 3.5

**Хімічний склад відходів масложиркомбінатів, %**

Складова	Кров'яне борошно	М'ясне борошно	М'ясо-кісткове борошно	Кісткове борошно	Рибне борошно (жирне)	Рибне борошно (нежирне)
Суха речовина	90	90	90	90	90	90
Сирий протеїн	67,5	56,1	40,1	17,8	53,5	62,1
Сирий жир	2,5	15,3	11,2	15,7	10,8	2,3
Сира клітковина	-	-	-	-	-	-
БЕР	5,2	4,1	4,6	3,8	9,5	5,3

Таблиця 3.6

**Хімічний склад відходів м'ясної та рибної промисловості, %**

Складова	макуха				шрот			
	лляна	соняшникова	ріпакова	соева	лляний	соняшковий	ріпаковий	соевий
Суха речовина	90	90	90	90	90	90	90	90
Сирий протеїн	33,8	40,5	32,8	41,8	34,0	42,9	37,8	43,9
Сирий жир	10,2	7,7	8,7	7,4	1,7	3,7	2,2	2,7
Сира клітковина	9,5	12,9	11,3	5,4	9,6	14,4	11,8	6,2
Біологічно активні речовини	30,5	22,1	22,9	29,7	38,4	22,4	30,6	31,1

## **Лабораторна робота 21**

### **Метод визначення обростання сапробних організмів на штучних субстратах**

Важливим значенням, пов'язаним із забрудненням водойм, є визначення швидкості обростання сапробних організмів. З цією метою використовують "ловчі пластинки" із органічного чи предметного скла довжиною 7-8 см і шириною 2,5-3,0 см, які встановлюють як у забруднені, так і в незабруднені точки водойм (контроль).

**Мета роботи:** визначення обростання сапробних організмів на штучних субстратах.

#### **Хід роботи**

Предметні скельця вузьким кінцем встановити у розрізи, зроблені із каучукових чи парафінових коркових пробок, які прикріплюють до тросу і встановлюють у вертикальному положенні у визначених точках. Пластинки із органічного скла укріплюють на проволочі чи шнурі (із грузиком на кінці) на відстані 1 м один від одного і опускають у воду. "Ловчі пластинки" виймають із води через 1, 3, 5, 10 і 15 діб і за їх зовнішнім виглядом уявляють швидкість обростання у водоймі. Необхідно знати, що "ловчі пластинки" завжди знімають під водою. Особливо це має важливе значення, якщо на пластинках розвиваються нитчасті бактерії чи гриби. Потім їх переносять у широкі склянки, заповнені водою, щоб краще зберігалось обростання під час транспортування. У лабораторії проводять біологічний аналіз видів гідробіонтів і фотографують об'єкти обростання.

Щоб дізнатися, яка вага обростання, його з пластинок за допомогою зубної щітки знімають і по можливості розподіляють рівномірно у воді. Відмитий осад відфільтровують на висушений і зважений мембранний фільтр із середнім діаметром пор 3-5 мк. Якщо спостерігається мала кількість обростань, для фільтрування беруть весь осад, за більшої кількості відфільтровують лише частину осаду за рівномірного його розподілу у воді. Фільтр із осадом висушити 2-4 год при температурі 60 °С, а потім зважити.

У деяких випадках визначення сухої ваги обростань повинно бути доповнене мікроскопічним кількісним аналізом у товщі води тварин (консументів) і рослин (продуцентів). За якісним складом обростань у водосховищі розрізняють п'ять зон: поверхнева зона, зона продуцентів (трофогенний шар), перехідна зона (шар компенсацій), зона консументів, придонна зона. Якщо на склі розвиваються продуценти, то забарвлення обростань є зеленим. У придонному шарі води на склі зустрічаються залізобактерії або чорний осад сульфідів. Після транспортування в лабораторію обростання залишають лише на одній стороні скла, а з іншої видаляються. Опісля їх кладуть чистою стороною на предметне скло, на яке нанесені квадратні майданчики розміром 1 см. Організми середніх розмірів підраховують на площі 1 см. Після закінчення аналізу обростання очищають із скла в склянку, де розташовані обростання іншої сторони. Осад фіксують формаліном і зберігають для більш детального визначення. Крупні тварини

(черв'яки, личинки, гідри та ін.) підраховують у будь-якій камері. Результати підрахунків належать до загальної площі обох сторін "ловчих пластинок".

## **Лабораторна робота 22** **Ефективність перетворення біопалива в теплову** **або електричну енергію**

Завдання присвячене проблемі використання біопалива для перетворення його енергії в теплову або електричну в сільськогосподарських підприємствах і на фермах. Одним з видів біопалива є відходи життєдіяльності тварин (гною), при переробці яких (зброджування) у біогазогенераторах можна одержувати біогаз, до складу якого (до 70 %) входить метан; теплота згоряння метану при НФУ  $Q_{\text{н}}^{\text{п}} = 28 \text{ МДж/м}^3$ . Час повного зброджування субстрату, що складає з води, гною й ферментів, залежно від температури змінюється від 8 до 30 діб. Щільність сухого матеріалу в субстраті становить  $\rho_{\text{сух}} \approx 50 \text{ кг/м}^3$ . Вихід біогазу від 1 кг сухого матеріалу на добу становить приблизно  $V_{\text{г}} = 0,2 \div 0,4 \text{ м}^3/\text{кг}$ . Швидкість подачі сухого матеріалу, який зброджується у біогазогенераторі (метантенк)  $W$  залежить від виду тварин і їхньої кількості на фермі.

Якщо позначити через  $m_0$  (кг/добу) подачу сухого матеріалу, що зброджується, тоді добовий обсяг рідкої маси, що надходить у біогазогенератор ( $\text{м}^3/\text{добу}$ ) можна визначити по формулі:

$$V_{\text{свт}} = m_0 / \rho_{\text{сухий}} \quad (1)$$

Обсяг біогазогенератору, що необхідний для ферми ( $\text{м}^3$ ):

$$V_{\text{б}} = \tau \cdot V_{\text{свт}} \quad (2)$$

Добовий вихід біогазу:

$$V_{\text{г}} = m_0 \cdot v_{\text{г}} \quad (3)$$

Теплова потужність пристрою, що використовує біогаз (Мдж/сут) або (Вт),

$$N = \eta \cdot Q_{\text{н}}^{\text{п}} \cdot V_{\text{г}} \cdot f_{\text{м}} \quad (4)$$

де  $f_{\text{м}}$  – об'ємна частка метану в біогазі;  $\eta$  – ККД горілочного пристрою ( $\approx 60\%$ ).

**Мета роботи:** придбання навичок у плануванні експерименту, статистичній обробці експериментальних даних і моделюванні процесу визначення об'єму біогазогенератору.

**Матеріали та обладнання:** вміст метану в біогазі становить близько 70 %. ККД горілочного пристрою  $\eta$  (див. табл.). Щільність сухого матеріалу, розподіленого в масі біогазогенератора,  $\rho_{\text{сухий}} \approx 50 \text{ кг/м}^3$ . Теплота згоряння метану при нормальних фізичних умовах  $Q_{\text{н}}^{\text{п}} = 28 \text{ МДж/м}^3$ .

### **Хід роботи:**

Визначити обсяг біогазогенератору  $V_{\text{б}}$  і добовий вихід біогазу  $V_{\text{г}}$  в установці, що утилізує гній від  $n$  корів (див. табл.), а також забезпечувати нею теплову потужність  $N$  (Вт). Час циклу зброджування  $\tau = 14$  діб при температурі  $t = 25^\circ \text{C}$ ; подача сухого матеріалу, що зброджується, від однієї тварини йде зі

швидкістю  $W = 2$  кг/добу; вихід біогазу із сухої маси  $V_g = 0,24$  м<sup>3</sup> /кг. Вміст метану в біогазі становить близько 70 %. ККД горілочного пристрою  $\eta$  (див. табл.). Щільність сухого матеріалу, розподіленого в масі біогазогенератора,  $\rho_{\text{сухий}} \approx 50$  кг/м<sup>3</sup>. Теплота згоряння метану при нормальних фізичних умовах  $Q_n^p = 28$  МДж/м<sup>3</sup>. Дані, необхідні для проведення розрахунків, виберіть із таблиці 1. Персональний варіант відповідає останній цифрі номера вашої залікової книжки.

Величини	Варіант за номером залікової книжки									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
n	24	20	18	16	14	12	10	8	6	4
$\eta$	0,7	0,7	0,68	0,68	0,66	0,66	0,64	0,62	0,6	0,6

### КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що являє собою біоконверсія відходів?
2. Які відходи піддаються компостуванню?
3. Що таке компостування?
4. Дати визначення вермикультура.
5. Що називають біогумусом?
6. Які види черв'яків використовують при вермикомпостуванні?
7. Назвіть основні складові субстратів для вермикомпостування.
8. Назвіть стадії отримання біогазу.
9. Що таке біогаз?
10. Де можна застосовувати біогаз?



## РОЗДІЛ 4. ОЧИЩЕННЯ ЗАБРУДНЕНИХ СЕРЕДОВИЩ ДОВКІЛЛЯ

### ТЕМА 6. БІОЛОГІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ ГАЗОПОВІТРЯНИХ ВИКИДІВ

Очистка повітря – це один з напрямків діяльності людини, який має необхідність розвиватись та слугувати для загальнолюдського блага. Кількість вуглекислого газу в атмосфері з кожним роком стає все більше. Це зв'язано у першу чергу з промисловими та автомобільними викидами.

Суть полягає у визначенні типів забруднюючих повітря речовин, класифікації забруднювачів, причини і джерела забруднень. Вбачаючи всі причини і види забруднень, необхідною умовою є застосування процесів і апаратів для знешкодження промислових газових викидів. Практичне значення цієї теми полягає у впровадженні процесів очищення повітря від промислових газових викидів, переваги тих чи інших апаратних устаткувань на промислових підприємствах, різні типи і функціональні особливості апаратів.

Актуальність цієї теми є досить вагомою в теперішній час, оскільки промислово-індустріальний фактор досить широко чинить вплив, зокрема на атмосферне повітря, його складові і необхідним є більш широке впровадження газоочисних технологій, активно застосовувати їх на промислових підприємствах.

Об'єктом дослідження є забруднювачі атмосферного повітря та методи очищення та знезараження його.

Дослідження показали, що мільйони людей щорічно помирають через перенасичене забруднюючими речовинами повітря. В наших оселях з'являється все більше і більше забруднювачів повітря – на кухні, у спальній кімнаті, у ванній, поруч з телевізорами – ви можете доповнити цей список – всюди повітря забруднене та небезпечне для дихання! Ми маємо вжити заходів аби захистити не лише себе, але й наші родини, дітей, їх життя та щастя. Ми просто повинні щось зробити, щоб не стати одним з тих мільйонів, що помирають кожного року.

Більшість людей не обізнана щодо фактів забруднення повітря та не знають про хвороби, спричинені ним. Коротко розповімо про деякі з цих проблем.

Можливо, найстрашнішою проблемою є те, що ми можемо не знати, що відбувається! Легко думати: "Цього зі мною не станеться!". Виникнення сухого кашлю та очі, що сльозяться взимку, можуть мати різні пояснення. Застуди, грип та інші захворювання можуть мати подібні симптоми, але коли ми розуміємо, що хворіємо через те, що ми дихаємо токсичним повітрям, стає вже запізно. Шкода вже спричинена, наш організм послаблений та нездоровий.

Атмосферне повітря – це газова оболонка Землі зі своїм певним відсотковим складом газів в повітряному середовищі, з основними складовими, такими, як азот – 78% і кисень – 20%. Але добре відомо, що атмосферне повітря певним чином зазнає впливу різних факторів, зокрема і забруднень. Нині, досить гострою залишається проблема забруднення повітряного басейну, яка була особливо характерною як у ХХ столітті, так і в наш час. Під забрудненням

атмосфери розуміють потрапляння речовин будь-якого походження, які або не властиві природному складу атмосфери, або знаходяться в концентраціях, що значно відрізняються від свого природного вмісту в атмосфері, і які шкідливо впливають на живі організми та пригнічують їхню життєдіяльність. Основними джерелами забруднення атмосферного повітря є промислові підприємства та енергетичні системи; нафтопереробна і транспортна системи; металургійна промисловість, теплоенергетика та багато інших факторів антропогенного і природного походження.

На XIX спеціальній сесії Генеральної Асамблеї ООН у червні 1997 було прийнято одне з основних напрямів природоохоронної діяльності національних урядів в рамках програми. Цей напрямок полягає у підтримці чистоти атмосферного повітря планети. Для захисту атмосфери необхідні адміністративні та технічні заходи, спрямовані на зменшення зростаючого забруднення атмосфери. Захист атмосфери не може бути успішним при однобічних і половинчастих заходах, спрямованих проти конкретних джерел забруднення. Необхідно визначити причини забруднення, проаналізувати внесок окремих джерел у загальне забруднення і виявити можливості обмежити ці викиди.

Так з метою захисту навколишнього середовища в грудні 1997 року було прийнято Кіотський протокол, спрямований на регулювання викидів в атмосферу парникових газів. В Україні на збереження та покращення якості атмосферного повітря спрямовано закон "Про охорону атмосферного повітря". Цей закон повинен регулювати відносини в галузі охорони атмосферного повітря, щоб поліпшити стан атмосферного повітря та забезпечити сприятливе середовище для проживання людини, запобігти хімічного впливу на атмосферне повітря і забезпечити раціональне використання повітря у промисловості.

### ***ОСНОВНІ ДЖЕРЕЛА ЗАБРУДНЕННЯ***

Забрудненість – це несприятливі зміни стану атмосферного повітря, цілком або частково викликані діяльністю людини, які безпосередньо або опосередковано змінюють розподіл енергії, що надходить, рівні радіації, фізико-хімічні властивості атмосфери і умови існування живих організмів. Ступінь змін і масштаби наслідків залежать, по-перше, від інтенсивності й характеру самого забруднення, по-друге, стійкості атмосферного повітря до антропогенного навантаження.

Проте, ще з екстенсивним розвитком народного господарства швидкими темпами зростали антропогенні викиди в атмосферу. Ще у XX столітті масштаби цих викидів були на декілька порядків меншими від їх природних надходжень в атмосферу. Тому існуючі в природі механізми утримання рівноваги та стабільності характеристик атмосфери істотно не порушувались. Однак, за останні десятиріччя масштаби техногенних викидів наблизилися до їх природних надходжень або навіть перевищують їх. Крім того, відбуваються якісні зміни: в атмосферу викидається ще більша кількість речовин, яких там

раніше не було або було в дуже малих кількостях. Тому в атмосфері не встигають сформуватися механізми очищення від них.

Атмосферне повітря характеризується неоднорідністю своїх складових, і завжди зазнає впливу навколишнього середовища в цілому. Відносно постійними складовими атмосфери є азот ( $N_2$ ) – 78%, кисень ( $O_2$ ) – 21%. Але інший відсотковий склад відповідним чином містить в більшій чи меншій мірі певні газові компоненти, різноманітні забруднюючі речовини, домішки, аерозолі та інше. Слід відзначити основні особливості забруднюючих речовин і їх класифікацію:

1) Основні забруднювачі атмосфери – CO,  $SO_2$  оксиди азоту, вуглеводні, тверді частинки.

2) Поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ)

3) Сліди елементів (в основному метали)

4) Постійні гази ( $CO_2$ , фторхлорметани тощо)

5) Пестициди

6) Абразивні тверді частинки (кварц, азбест тощо)

7) Різноманітні забруднювачі, що надають багатобічну дію на організм (нітрозаміни, озонсульфати, нітрати, кетон, альдегіди та інші.)

За походженням всі джерела забруднення атмосфери поділяють на природні та антропогенні. До природних джерел забруднення атмосфери відносять виверження вулканів, лісові пожежі, поверхні вивітрювання, також в деяких аспектах сюди відносяться космічний пил, сонячне та космічне випромінювання тощо. Серед основних джерел антропогенного забруднення особливу увагу слід приділяти викидам промислових підприємств та енергетичних систем та багато інших факторів.

Всі забруднювачі атмосферного повітря об'єднують в дві основні групи: матеріальні та енергетичні. В свою чергу, матеріальні забруднювачі атмосфери поділяють на хімічно інертні (нетоксичні) та хімічно активні (токсичні). Токсичними називають такі інгредієнти, які при перевищенні певних граничнодопустимих концентрацій (ГДК) спричиняють загибель живих істот або пригнічують їхню життєдіяльність, в тому числі впливають на здоров'я людей. Нетоксичними є такі інгредієнти, які необхідні для розвитку живих організмів або вони не впливають на їх життєдіяльність у межах певних концентрацій, що характерна для природного складу атмосферного повітря. Значне відхилення від меж природних концентрацій нетоксичних інгредієнтів може надавати негативного впливу на живі організми.

Речовини, що забруднюють атмосферу класифікують на основі характеру впливу на живі організми. Виділяють п'ять основних груп забруднювальних речовин:

- *загальносоматичні*, які при певній кількісній дії можуть викликати отруєння всього організму, наприклад, оксид Карбону, пари Меркурію, неорганічні сполуки Плюмбуму, тощо;

- *подразнювальні*, які викликають подразнення дихальних шляхів та слизових оболонок, наприклад, оксиди Сульфуру та Нітрогену, озон, хлор, тощо;

- *алергени або сенсibiliзуючі*, тобто хімічно інертні речовини, які здатні викликати алергії та шкіряні захворювання типу екзем, наприклад, нетоксичний пил, квітковий пилок, тощо;

- *канцерогенні*, які викликають появу злоякісних пухлин, наприклад, бенз(а)пірен, азбест, сполуки Хрому, радон, тощо;

- *мутагенні*, які викликають небажані мутації в живих організмах.

В основі забруднення повітря, певним чином, наявні різні хімічні речовини.

Оксиди азоту утворюються переважно при високотемпературній фіксації азоту і кисню в силових установках і двигунах внутрішнього згорання. Оксид азоту утворюється при електричних розрядах в атмосфері і присутній у відпрацьованих газах автомобілів.

Діоксид сірки утворюється при згоранні палива з високим вмістом сірки (нафта, кам'яне вугілля). Джерелами емісії цього токсичного газу є стаціонарні джерела горіння, наприклад СДЗ (85%-95%), промислові об'єкти (5-10%), двигуни внутрішнього згорання (2-7%).

Діоксид сірки відносять до головних і найбільш важливих забруднювачів повітря, небезпечного для тварин і рослин, він приймає участь в утворенні фотохімічного смогу. Загальна емісія діоксиду сірки в атмосферу складає 8-10 т в рік, тобто значно перевершує надходження в атмосферу більшості інших токсичних хімічних речовин, і постійно зростає пропорційно зростанню споживання енергії.

Чадний газ – найбільш небезпечний і надзвичайно розповсюджений з газоподібних забруднювачів повітря, токсичність якого обумовлена реакцією з гемоглобіном крові. Утворення СО відбувається при неповному згоранні різного палива. Природним джерелом СО є лісові пожежі і фотохімічне перетворення органічних сполук в атмосфері. Близько 25% СО антропогенного походження. Значна кількість чадного газу надходить в атмосферу міст і промислових регіонів з відпрацьованими газами автотранспорту.

Тверді частинки, що містяться в атмосфері, є пилом, піском, золою, сажою, вулканічним пилом і аерозолі органічної (високомолекулярні сполуки) і неорганічної природи. Часто токсичність твердих частинок обумовлена адсорбцією на їх поверхні таких небезпечних сполук, як ПАВ або нітрозаміни.

Фотоксиданти утворюються в атмосфері при взаємодії реакцездатних вуглеводнів і оксидів азоту під дією УФ-радіації. Зрештою утворюються високотоксичні речовини: пероксиацетилнітрат тощо.

Оксиданти забруднюють повітряний басейн більшості крупних міст світу, оскільки їх утворення пов'язане з розвитком промисловості і автотранспорту. Наступна група забруднювачів – поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ) – можуть бути як первинними, так і вторинними забруднювачами атмосфери і зазвичай адсорбуються на твердих частинках. Багато з ПАВ відрізняються

вираженою канцерогенною, мутагенною і тератогенною діями і представляють серйозну загрозу для людини. Основним джерелом емісії ПАВ є ТЕЦ, що працюють на нафті або кам'яному вугіллі, а також підприємства нафтохімічної промисловості.

З декількох мільйонів відомих сполук лише близько 6000 перевірені на канцерогенну активність. В даний час встановлено, що 1500 хімічних сполук, що є потенційними забруднювачами атмосфери, володіють вираженими канцерогенними властивостями.

Вміст ПАВ і інших канцерогенних речовин, що потрапляють в атмосферу з викидами промислових підприємств, складає в великих індустріальних містах близько 80% від загального забруднення навколишнього середовища.

Кількість слідів хімічних елементів представлені в атмосфері такими високотоксичними забруднювачами, як миш'як, берилій, кадмій, свинець, магній і хром. Вони зазвичай присутні в повітрі у вигляді неорганічних солей, адсорбованих на твердих частинках.

Близько 60 металів ідентифіковано в продуктах згорання вугілля. У димових газах ТЕЦ виявлені ртуть, миш'як, барій, берилій, вісмут, бром, кадмій, хлор, кобальт, мідь, залізо, фтор, свинець, марганець, сурма молібден, нікель, селен, телур, хром, вольфрам, талій, олово, титан, уран, ванадій, цинк і цирконій.

Для більшості перерахованих елементів їх викид в атмосферу з димовими газами ТЕЦ складає від абсолютного рівня забруднення повітря всіма джерелами емісії цих елементів. При цьому максимальна кількість забруднювачів потрапляє в атмосферу при спалюванні вугілля. На частку цього джерела доводиться більше 95% твердих частинок, 85% оксидів сірки, 70% оксидів азоту і більше 90% слідів елементів від загальної кількості викидів для всіх ТЕЦ, що працюють на вугіллі, нафті і газі.

Скупчуючись в атмосфері, забруднювачі взаємодіють один з одним, гідролізуються і окислюються під дією вологи і кисню повітря, а також змінюють свій склад під впливом радіації. Внаслідок цього тривалість перебування забруднюючих домішок в атмосфері тісно пов'язана з їх хімічними властивостями. Велика тривалість перебування в повітрі малоактивних сполук наступної групи токсичності – постійних газів (фреони і діоксид вуглецю). З пестицидів, які зазвичай розпилюють з літаків, особливо токсичні фосфорорганічні пестициди, при яких в атмосфері утворюються продукти ще токсичніші, ніж початкові сполуки.

Молекули, що слугують джерелом забруднення повітря, утворюються в результаті безлічі різних процесів. Порогові концентрації поганого запаху вельми незначні. Наприклад: валеріанова кислота – 0,6 %; тіофенол – 0,06 %; діамілсульфід – 0,14 %; масляна кислота – 1,0 %; метилмеркантан – 1,104 %; скатол – 1,2 %; етил-меркантан – 0,19 %.

## **МЕТОДИ ОЧИСТКИ ПОВІТРЯ**

### **Біохімічні методи**

Біохімічні методи очищення засновані на здатності мікроорганізмів руйнувати і перетворювати різні з'єднання. Розкладання речовин відбувається під дією ферментів, що виробляються мікроорганізмами в середовищі газів, що очищаються. При частій зміні складу газу мікроорганізми не встигають адаптуватися для продукування нових ферментів, і ступінь руйнування шкідливих домішок стає неповним. Тому біохімічні системи понад усе придатні для очищення газів постійного складу.

Біохімічну газоочистку проводять або в біофільтрах, або в біоскруберах. У біофільтрах газ, що очищається, пропускають через шар насадки, зрошуваний водою, яка створює вологість, достатню для підтримки життєдіяльності мікроорганізмів. Поверхня насадки покрита біологічно активною біоплівкою (БП) з мікроорганізмів.

Мікроорганізми БП в процесі своєї життєдіяльності поглинають і руйнують речовини, що містяться в газовому середовищі, внаслідок чого відбувається зростання їх маси. Ефективність очищення значною мірою визначається масоперенесенням з газової фази в БП і рівномірним розподілом газу в шарі насадки. Такого роду фільтри використовують, наприклад, для дезодорації повітря. Газовий потік, що в цьому випадку очищується, фільтрується в умовах прямого потоку із зрошуваною рідиною, що містить живильні речовини. Після фільтру рідина потрапляє у відстійники і далі знов подається на зрошування.

В даний час біофільтри використовують для очищення газів, що відходять, від аміаку, фенолу, крезолу, формальдегіду, органічних розчинників фарбувальних і сушильних ліній, сірководню, метилмеркаптану й інших сіркоорганічних сполук.

До недоліків біохімічних методів слід віднести:

- низьку швидкість біохімічних реакцій, що збільшує габарити устаткування;
- специфічність (високу вибірковість) штамів мікроорганізмів, що ускладнює переробку багатокомпонентних сумішей;
- трудомісткість переробки сумішей змінного складу

Гази з неприємним запахом можуть видалятися біотехнологічно в «сухих» або «мокрих» біореакторах. «Мокрий» реактор або біоскруббер, працює як реактор з насадкою з іммобілізованою біомасою і протитечею рідини. При цьому, гази, що неприємно пахнуть, переносяться з газової фази в рідку, а потім окислюються. Основні переваги цього процесу полягають у наступному: має місце велика ефективність поглинання, біоокислення практично до нуля знижує смердючі забруднення, різко зменшується обсяг поглинання рідкої фази; паралельно вирішується проблема видалення стічних вод.

«Сухий» біореактор завантажується насадкою з біоактивного сорбуючого матеріалу (компост, торф), через який продуваються забруднені гази. Сорбовані

з'єднання активно окислюються мікробними спільнотами, що розвиваються на поверхні насадки, одночасно регенеруючи її. За такою біотехнологією, наприклад, проводиться очищення повітря в свинарниках. Перспективним напрямом біотехнології очищення газів є створення біологічно активних сорбентів та оптимізації мікробного співтовариства (включаючи генетичні методи), що окислюють широкий спектр субстратів.

### **Абсорбційний метод**

Абсорбція являє собою процес розчинення газоподібного компонента в рідкому розчиннику. Абсорбційні системи поділяють на водні і неводні. У другому випадку застосовують зазвичай малолеткі органічні рідини. Рідину використовують для абсорбції тільки один раз або ж проводять її регенерацію, виділяючи забруднювач в чистому вигляді. Схеми з одноразовим використанням поглинача застосовують у тих випадках, коли абсорбція призводить безпосередньо до отримання готового продукту або напівпродукту. Як приклади можна назвати: отримання мінеральних кислот (абсорбція  $\text{SO}_3$  у виробництві сірчаної кислоти, абсорбція оксидів азоту у виробництві азотної кислоти); отримання солей (абсорбція оксидів азоту лужними розчинами з отриманням нітритних та нітратних лугів, абсорбція водними розчинами вапна або вапняку з отриманням сульфату кальцію); інших речовин (абсорбція  $\text{NH}_3$  водою для отримання аміачної води тощо). Схеми з багаторазовим використанням поглинача (циклічні процеси) є більш поширені. Їх застосовують для уловлювання вуглеводнів, очищення від  $\text{SO}_2$  димових газів ТЕС, очищення вентиляційних газів від сірководню залізно - содовим методом з отриманням елементарної сірки, моноетаноламінового очищення газів від  $\text{CO}_2$  в азотній промисловості. Залежно від способу створення поверхні зіткнення фаз розрізняють поверхневі, барботажні і розпилюючі абсорбційні апарати. У першій групі апаратів поверхнею контакту між фазами є дзеркало рідини або поверхня текучої плівки рідини. Сюди ж відносять насадкові абсорбенти, в яких рідина стікає по поверхні завантаженої в них насадки з тіл різної форми. У другій групі абсорбентів поверхня контакту збільшується завдяки розподілу потоків газу в рідину у вигляді бульбашок і струменів. Барботаж здійснюють шляхом пропускання газу через заповнений рідиною апарат або в апаратах колонного типу з тарілками різної форми. У третій групі поверхня контакту створюється шляхом розпилення рідини в масі газу. Поверхня контакту і ефективність процесу в цілому визначається дисперсністю розпиленої рідини.

Найбільшого поширення набули насадкові (поверхневі) і барботажні тарілчасті абсорбери. Для ефективного застосування водних абсорбційних середовищ виділений компонент повинен добре розчинятися в абсорбційному середовищі і часто хімічно взаємодіяти з водою, як наприклад, при очищенні газів від  $\text{HCl}$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2$ . Для абсорбції газів з меншою розчинністю ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ) використовують лужні розчини на основі  $\text{NaOH}$  або  $\text{Ca(OH)}_2$ . Добавки хімічних реагентів у багатьох випадках збільшують ефективність абсорбції завдяки протіканню хімічних реакцій в плівці. Для очищення газів від вуглеводнів цей метод на практиці використовують значно рідше, це

обумовлено, перш за все, високою вартістю абсорбентів. Загальними недоліками абсорбційних методів є утворення рідких стоків і громіздкість апаратурного оформлення.

Барботажні абсорбери підрозділяються на три основні групи: з суцільним барботажним шаром; із ступінчастим контактом тарілчастого типу; з механічним перемішуванням рідини.

*Абсорбер з суцільним барботажним шаром.* У апаратах цього типу спостерігається перемішування рідини по висоті і рушійна сила по висоті апарату практично однакова. Тому при високих коефіцієнтах масопередачі і розвиненій поверхні контакту фаз ефективність апарату низька і мало залежить від висоти шару піни. Підвищення ефективності спостерігається при зростанні висоти барботажного шару тільки до 50 мм.

*Абсорбери із ступінчастим контактом.* Такі абсорбери мають в одному корпусі декілька тарілок, розташованих один над одним. На кожній тарілці утворюється барботажний шар і таким чином здійснюється ступінчастий контакт.

### **Адсорбційний метод**

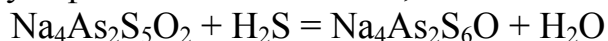
Принцип цього методу полягає у розкладанні газоподібної суміші на складові частини поглинанням одного або декількох газових компонентів (адсорбентів) цієї суміші рідким поглиначем (адсорбентом) з утворенням розчину. Основним при цьому є градієнт концентрації на межі фаз «газ–рідина». Розчинений у рідині адсорбат внаслідок дифузії проникає у внутрішні шари абсорбенту. Метод ґрунтується на властивостях деяких твердих тіл з ультрамікроскопічною структурою селективно вилучати та концентрувати на поверхні окремі компоненти із газової суміші. У пористих тілах з капілярною структурою поверхневе поглинання доповнюється капілярною конденсацією.

Адсорбція поділяється на фізичну і хемосорбцію. При фізичній адсорбції молекули газу прилипають до поверхні твердого тіла під дією міжмолекулярних сил притягання (сил Ван-дер-Вальса). Вивільнене при цьому тепло залежить від сили притягання і за порядком значення (як правило, в межах від 2 до 20 кДж/моль) збігається з кількістю тепла конденсації випарів. Великою перевагою фізичної адсорбції є зворотність процесу. При зменшенні тиску адсорбату в потоці газу або при збільшенні температури поглинений газ легко десорбується без зміни хімічного складу. Зворотність цього процесу виключно важлива, якщо економічно вигідно рекуперувати адсорбований газ або адсорбент.

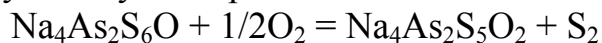
Метод хемосорбції ґрунтується на поглинанні газів і парів твердими або рідкими поглиначами з утворенням малолетких або малорозчинних хімічних сполук. Поглинальна здатність хемосорбенту майже не залежить від тиску, тому хемосорбція доцільніша за невеликої концентрації шкідливих речовин у вихідних газах. Більшість реакцій, що протікають у процесі хемосорбції, є екзотермічними та зворотними, тому при підвищенні температури розчину хімічні сполуки розкладаються з виділенням вихідних елементів. На цьому принципі базується механізм десорбції хемосорбенту. Прикладом хемосорбції



може слугувати очищення газоповітряної суміші від сірководню із застосуванням миш'яково-лужного, еталоламінового та інших розчинів. При миш'яково-лужному методі вилучений із вихідного газу сірководень зв'язується оксисульфомиш'яковою сіллю, що знаходиться у водному розчині:



Регенерацію розчину здійснюють окисненням кисню, що виділяється в очищуваному повітрі:



У цьому випадку побічним продуктом є сірка. Адсорбери з шаром адсорбенту бувають періодичної і безперервної дії.

Конструкція адсорбера має просту будову. Має звичайний люк, через який поглинач завантажують на гофровану сітку. Газ, що очищається, подають в адсорбер по трубі. Проходячи через отвори сітки, газ підтримує поглинач в псевдозрідженому стані. Габарит адсорбера з псевдозрідженим шаром поглинача втричі менше габариту адсорбера з нерухомим шаром. Опір адсорбера з псевдозрідженим шаром поглинача в 5 разів менше, ніж у разі нерухомого шару. Витрата металу менше в 2,5 рази, а витрата електроенергії — в 5 разів.

### **Ультрафіолетове випромінювання**

Ультрафіолетове випромінювання (ультрафіолет, UV, УФ) – це електромагнітне випромінювання, що охоплює діапазон довжин хвиль від 100 до 400 нм оптичного спектру електромагнітних коливань, тобто між видимим і рентгенівським випромінюванням. Застосування в даний час ультрафіолетової енергії стає все більш актуальним, оскільки є одним з головних методів інактивації вірусів, бактерій і грибків. Під інактивацією мікроорганізмів розуміють втрату їх здатності до розмноження після стерилізації або дезінфекції. Бактерицидну дію має ультрафіолетове випромінювання з діапазоном довжин хвиль 205-315 нм, воно викликає деструктивно-модифікуючу фотохімічні пошкодження ДНК клітинного ядра мікроорганізму. Зміни в ДНК мікроорганізмів накопичуються і призводять до уповільнення темпів їх розмноження і подальшого вимирання в першому і наступному поколіннях. В результаті ряду спостережень було відзначено, що вплив енергії в діапазоні спектра UVC найбільш ефективно з бактерицидною точки зору при довжині хвилі в 254 нм.

Ультрафіолетове бактерицидне опромінення повітряного середовища проводиться за допомогою ультрафіолетового випромінювального обладнання, принцип дії якого заснований на пропущенні електричного розряду через розріджений газ (включаючи пари ртуті), що знаходиться всередині герметичного корпусу, в результаті чого відбувається випромінювання.

Випромінювальне обладнання – це бактерицидні лампи та обладнання для випромінювання. Бактерицидна лампа – штучне джерело випромінювання, в спектрі якого є переважно бактерицидне випромінювання в діапазоні довжин хвиль 205-315 нм. Найбільшого поширення, завдяки високоефективному перетворенню електричної енергії у випромінювання, отримали розрядні ртутні

лампи низького тиску, в яких процес електричного розряду в аргонно-ртутній суміші переходить у випромінювання з довжиною хвилі 253,7 нм. Ці лампи мають великий термін служби – 5000 - 8000 год. Відомі ртутні лампи високого тиску, які при невеликих габаритних розмірах володіють великою одиничною потужністю – від 100 до 1000 Вт, що дозволяє в окремих випадках зменшити число опромінювачів в бактерицидній установці. З іншого боку, вони мало економічні, мають низьку бактерицидну ефективність при терміні служби, в 10 разів меншу порівняно з лампами низького тиску, і тому не знайшли широкого застосування.

### **Озонні методи**

Озонні методи застосовують для знешкодження димових газів від  $\text{SO}_2$  ( $\text{NO}_x$ ) і дезодорації газових викидів промислових підприємств. Введення озону прискорює реакції окислення  $\text{NO}$  до  $\text{NO}_2$  і  $\text{SO}_2$  до  $\text{SO}_3$ . Після утворення  $\text{NO}_2$  і  $\text{SO}_3$  в димові гази вводять аміак і виділяють суміш утворилися комплексних добрив (сульфату і нітрату амонію). Час контакту газу з озоном, необхідне для очищення від  $\text{SO}_2$  (80-90 %) і  $\text{NO}_x$  (70-80 %) складає 0,4 - 0,9 с. Енерговитрати на очищення газів озонним методом оцінюють в 4-4,5 % від еквівалентної потужності енергоблоку, що є, мабуть, основною причиною, яка стримує промислове застосування даного методу. Застосування озону для дезодорації газових викидів засноване на окислювальному розкладанні речовин, що неприємно пахнуть. В одній групі методів озон вводять безпосередньо в гази, що очищаються, в іншій гази промивають попередньо озонованою водою. Застосовують також подальше пропускання озонованого газу через шар активованого вугілля. При введенні озону і подальшому його пропусканні через каталізатор, температура перетворення таких речовин як аміни, ацетальдегід, сірководень знижується до 60-80 °С. В якості каталізатора використовують як  $\text{Pt}/\text{Al}_2\text{O}_3$ , так і оксиди міді, кобальту, заліза на носії. Основне застосування озонних методів дезодорації знаходять при очищенні газів, що виділяються при переробці сировини тваринного походження на м'ясо- (жиро-) комбінатах і в побуті.

### **Плазмохімічні методи**

Плазмохімічний метод заснований на пропусканні повітряної суміші з шкідливими домішками через високовольтний розряд. Використовують, як правило, озонатори на основі бар'єрних, коронних або ковзаючих розрядів, або імпульсні високочастотні розряди на електрофільтрах, що проходять низькотемпературну плазму повітря і піддаються бомбардуванню електронами і іонами. У результаті в газовому середовищі утворюється атомарний кисень, озон, гідроксильні групи, збуджені молекули і атоми, які і беруть участь в плазмохімічних реакціях з шкідливими домішками. Основні напрямки щодо застосування даного методу спрямовані на вилучення  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  і органічних сполук. Використання аміаку, при нейтралізації  $\text{SO}_2$  і  $\text{NO}_x$ , дає на виході після реактора порошкоподібні добрива  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  і  $\text{NH}_4\text{NH}_3$ , які фільтруються. Недоліком даного методу є: недостатньо повне розкладання шкідливих речовин до води і вуглекислого газу, у разі окислення органічних компонентів,

наявність залишкового озону, який необхідно розкласти термічно або каталітично істотно залежність від концентрації пилу при використанні озонаторів із застосуванням бар'єрного розряду.

#### **Плазмокatalітичний метод**

Це досить новий спосіб очищення, який використовує два відомих методи – плазмохімічний і каталітичний. Установки, що працюють на основі цього методу, складаються з двох ступенів. Перша – це плазмохімічний реактор (озонатор), друга – каталітичний реактор. Газоподібні забруднювачі, проходячи зону високовольтного розряду в газорозрядних осередках і взаємодіючи з продуктами електросинтезу, руйнуються і переходять в нешкідливі з'єднання, аж до  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$ . Глибина конверсії (очищення) залежить від величини питомої енергії, що виділяється в зоні реакції. Після плазмохімічного реактора повітря піддається фінішній тонкій очистці в каталітичному реакторі. Синтезований в газовому розряді плазмохімічного реактора озон потрапляє на каталізатор, де відразу розпадається на активний атомарний і молекулярний кисень. Залишки забруднюючих речовин (активні радикали, збуджені атоми і молекули), не знищені в плазмохімічному реакторі, руйнуються на каталізаторі завдяки глибокому окисленню. Перевагою цього методу є використання каталітичних реакцій за температур, нижчих ( $40\text{-}100\text{ }^\circ\text{C}$ ), ніж при термокаталітичному методі, що призводить до збільшення строку служби каталізаторів, а також до менших енерговитрат (при концентраціях шкідливих речовин до  $0,5\text{ г/м}^3$ ). Недоліками даного методу є велика залежність від концентрації пилу, необхідність попереднього очищення до концентрації  $3\text{-}5\text{ мг/м}^3$ , при великих концентраціях шкідливих речовин (понад  $1\text{ г/м}^3$ ) вартість обладнання та експлуатаційні витрати перевищують відповідні витрати в порівнянні з термокаталітичним методом

#### **Фотокatalітичний метод**

Зараз широко вивчається і розвивається фотокаталітичний метод окислення органічних сполук. У цьому методі використовуються каталізатори на основі  $\text{TiO}_2$ , які опромінюються ультрафіолетом. Недоліком методу є засмічення каталізатора продуктами реакції. Для вирішення цього завдання використовують введення в очищається суміш озону, проте дана технологія застосовна для обмеженого складу органічних сполук і при невеликих концентраціях.

### **БІОЛОГІЧНІ ФІЛЬТРИ**

Біофільтрація – мікробіологічний метод очищення повітря від шкідливих домішок побутового та промислового походження. Метод заснований на природній здатності мікроорганізмів утворювати біологічно активну плівку (biofilm) на поверхні твердого пористого носія, витягувати домішки органічних і неорганічних летючих речовин, враховуючи органічні речовини штучного походження (ксенобіотики), окисляти і розкласти їх до води і вуглекислого газу.

Біохімічні методи засновані на здатності мікроорганізмів руйнувати і переробляти різні сполуки. Ці методи найбільш застосовують для очищення газів постійного складу. При зміні складу газу мікроорганізми не встигають пристосуватися і ефективність очищення падає. Висока ефективність газоочистки досягається за умови, що швидкість біохімічного окислення шкідливих речовин перевищує швидкість їх надходження з газом.

Біологічні фільтри прості за конструкцією і їх експлуатація не пов'язана з великими капіталовкладеннями. Найпростіший біофільтр – це ємність в землі, в якій під шар фільтрувального матеріалу (земля, торф, компост тощо) подають потік газу, який очищається.

### **Пилові фільтри**

Пилові фільтри для повітря являють собою особливу тканину, здатну затримувати частинки пилу розміром до 0.3 мікрон. Принцип роботи цих фільтрів гранично простий: повітря вентилятором проходить через тканину, на якій і осідають частинки пилу. До переваг цього виду фільтрів можна віднести простоту використання і невисоку вартість. Слід мати на увазі, що в цьому випадку очищення здійснюється тільки від частинок пилу середньої дисперсності, летючі екологічні забруднювачі не уловлюються.

## **Лабораторна робота 23** **Визначення ступеня забруднення** **навколишнього середовища (повітря)**

**Основні забруднювачі повітря.** Забруднювачами повітря є речовини, що присутні в атмосфері і впливають на здоров'я людини, стан тваринного, рослинного світу і мікроорганізмів. Насамперед, це кислотні дощі, атмосферні гази, радіоактивні забруднення, важкі метали, пестициди. Природними джерелами атмосферних забруднень є лісові пожежі, вітрова ерозія, життєдіяльність живих організмів, природна фонова радіоактивність. Чинниками антропогенного забруднення в агросфері є гній, пестициди, добрива, нітрати, важкі метали, поверхнево-активні речовини.

**Мета роботи:** визначення показників забруднення навколишнього середовища.

### **Завдання**

1. Вивчити методику визначення показників ступеня забруднення навколишнього середовища (повітря);
2. Визначити коефіцієнт забруднення повітря атмосфери;
3. Визначити мінімальне число забруднювачів та їх кількість, за якої не відбувається негативного впливу на навколишнє середовище;
4. Визначити граничнодопустимі концентрації (ГДК) забруднювачів-політантів у тваринницькому приміщенні.

## Класифікація основних забруднювачів повітря

Клас забруднювачів	Основні представники класу
Оксиди вуглецю	CO, CO <sub>2</sub>
Оксиди сірки	SO <sub>2</sub>
Оксиди азоту	NO, NO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O
Леткі хімічні сполуки (ЛХС)	CH <sub>4</sub> , C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> , C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>
Суспендована речовина частинок, тверді частинки, біологічні аерозолі	CH <sub>2</sub> O, CHCl <sub>3</sub> , CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> , CCl <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O
Рідкі краплі	Ґрунтовий пил, сажа, азбест, солі Pb (Cs, SO <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , нафта, пестициди (малатіон))
Фотохімічні окисники, що утворюються внаслідок реакцій кисню, оксидів азоту та ЛХС, що виникають за сонячного освітлення	O <sub>3</sub> , пероксиацилнітрати, CH <sub>2</sub> O, C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> O, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>

*Біоіндикацією* називають використання організмів чи їх угруповань, вміст в яких певних елементів або сполук, а також клітинна структура, поведінка та популяційна організація дають інформацію щодо якості навколишнього середовища. Значний антропогенний вплив на фітоценози мають такі забруднюючі речовини як діоксид сірки, оксиди азоту, вуглеводні. Із вищих рослин підвищену чутливість до SO<sub>2</sub> мають хвойні рослини (сосна, ялина, кедр). За інтенсивного забруднення лісу діоксидом сірки спостерігається пошкодження і попереднє опадання хвої сосни.

*Визначення стану хвої сосни звичайної для оцінки забруднення атмосфери.* В незабруднених лісових екосистемах основна маса хвої сосни здорова, не має пошкоджень і лише у незначній частині наявні світло-зелені плями і некротичні крапки мікроскопічних розмірів, які рівномірно поширені по всій поверхні. У забрудненій атмосфері з'являються пошкодження і знижується тривалість життя хвої сосни.

*Методика індикації чистоти атмосфери* за станом хвої сосни така. З кількох бокових пагонів у середній частині крони (5-10 дерев) сосни відбирають 200-300 пар хвоїнок другого і третього років життя.

Аналіз хвої проводять у лабораторії. Її ділять на три частини (непошкоджена, хвоя з плямами і та, що має ознаки усихання) з наступним підрахунком кількості хвоїнок в кожній групі. Дані заносять у таблицю 4.2 із обов'язковою датою відбору проб на кожній ділянці. Отримані результати порівнюють із результатами минулих років за даними екопаспорту. Таким чином роблять висновок про зміни забруднення атмосфери.

**Визначення стану хвої сосни звичайної для оцінки забруднення атмосфери (досліджувані показники - кількість хвоїнок)**

Пошкодження і усихання хвоїнок	Номери ключових ділянок				
	1	2	3	4	5
Загальна кількість досліджуваних хвоїнок					
Кількість хвоїнок із плямами					
Відсоток хвоїнок із плямами					
Кількість хвоїнок із усиханням					
Відсоток хвоїнок із усиханням					
Дата відбору проб					

### Лабораторна робота 24

#### Аналіз мікрофлори повітря, води

**Мета роботи:** Виявлення показників щодо забрудненості повітря та санітарно-бактеріологічне дослідження води.

#### I. Аналіз мікрофлори повітря

Повітря не є середовищем, сприятливим для існування і розвитку мікроорганізмів. Потрапляючи в повітря, вони швидко гинуть внаслідок висихання, дії сонячних променів і нестачі поживних речовин. Склад мікрофлори повітря дуже різноманітний. Він залежить від ступеня забрудненості повітря мінеральними та органічними речовинами, температури, вологості тощо. Серед мікроорганізмів, які найчастіше виявляються в повітрі, переважають спороносні бактерії родів *Bacillus*, *Clostridium*, цільові гриби, які найбільш стійкі до висихання, а також пігментовані бактерії родів *Micrococcus*, *Sarcina*, *Serratia*, які стійкі до дії ультрафіолетових променів. Мікроорганізми у повітрі потрапляють, головним чином, з ґрунту.

Людина в середньому за добу вдихає 12000-14000 л повітря, при цьому 99,8% мікробів, які містяться в повітрі, затримуються у дихальних шляхах. У повітрі закритих приміщень виявляють бактерії, які виділяються зі слизових оболонок верхніх дихальних шляхів людини при чханні, кашлі, розмові. Від хворих у повітря виділяються поряд з умовно-патогенними мікроорганізмами (стафілококами, стрептококами) патогенні мікроби (гемолітичні стрептококи, бактерії дифтериту, кашлюку, мікобактерії туберкульозу та інші). При дослідженні повітря закритих приміщень важливим є метод вловлювання мікроорганізмів із повітря. Залежно від цього розрізняють *седиментаційні*, *фільтраційні* та *аспіраційні* методи дослідження повітря. В основі усіх методів лежить однаковий принцип підрахунку бактерій. Вважають, що кожна бактерія, яка потрапила на агаризоване поживне середовище, розмножується, утворюючи колонію, яку можна побачити неозброєним оком. За кількістю підрахованих колоній розраховують кількість бактерій, вловлених при аналізі повітря.

*Метод вловлювання повітря рідинами* належить до фільтраційних методів. Певний об'єм повітря продувають через певний об'єм рідини (стерильна вода, буфер, рідке поживне середовище). По 0,1 мл цієї рідини висівають у чашки Петрі на тверде поживне середовище. Чашки інкубують у термостаті. Через певний час підраховують кількість колоній, що виростили на чашках. При обчисленні кількості мікроорганізмів у повітрі враховують об'єм рідини-поглинача та об'єм повітря, яке пройшло через рідину.

*Аспіраційний метод з використанням апарата Кротова.* Конструкція апарата Кротова ґрунтується на принципі ударної дії струменя повітря. Апарат складається з трьох частин: вузла для відбору проб повітря, мікроманометра та електромотора. Апарат може пропускати від 25 до 50 л повітря за хвилину.

«Засіяні повітрям» чашки інкубують у термостаті. Через певний час підраховують кількість колоній, які виростили на них. Результати аналізу виражають найчастіше мікробним числом – кількістю мікроорганізмів у 1 м<sup>3</sup> повітря.

*Метод осадження Коха* належить до седиментаційних. Метод дає можливість виявити лише 35-60% мікробів повітря і дозволяє тільки орієнтовано оцінити чистоту повітря. Принцип методу полягає в тому, що мікроорганізми повітря досліджуваного приміщення разом з пилом осаджуються на поверхню поживного агару в чашці Петрі. Час осадження залежить від забрудненості повітря. «Засіяні повітрям» чашки інкубують у термостаті, а через 2-3 дні підраховують кількість колоній на них.

Розрахунки мікробного числа виконують за формулою Омелянського (1):

$$x = \frac{n \times 5 \times 10^4}{t \times r^2},$$

де x – кількість мікроорганізмів у 1 м<sup>3</sup> повітря;

n – кількість колоній мікроорганізмів, які виростили у чашці Петрі;

t – час осадження, хв;

r<sub>2</sub> – площа чашки Петрі, см<sup>2</sup>. Площа чашки Петрі дорівнює 78,5 см<sup>2</sup>;

5 і 10<sup>4</sup> – коефіцієнти для перерахунку кількості мікроорганізмів у 1 м<sup>3</sup>.

Для визначення загального мікробного забруднення проби повітря «висівають» на МПА. Для виявлення у повітрі дріжджів та цвілей використовують сусло-агар. Патогенні мікроорганізми виявляють на відповідних диференційно-діагностичних живильних середовищах, зокрема, гемолітичні стрептококи та стафілококи на кров'яному агарі.

Офіційних стандартів чистоти повітря не розроблено, але прийнято показники оцінки ступеня мікробного забруднення приміщень (табл. 4.3).

Таблиця 4.3

### Число мікроорганізмів у 1 м<sup>3</sup> повітря

Оцінка чистоти повітря	Літній період		Зимовий період	
	Всього мікроорганізмів	Гемолітичні бактерії	Всього мікроорганізмів	Гемолітичні бактерії
Чисте	<1500	<16	<4500	<36
Забруднене	>2500	>36	>7000	>124

## Завдання

1. Визначити кількість мікроорганізмів у  $1 \text{ м}^3$  повітря у різних приміщеннях.

### Хід роботи

1. Розплавлений стерильний МПА розлити у чашки Петрі. Після застигання середовища чашки відкрити у досліджуваному приміщенні на 10 хв. Чашки підписати і помістити у термостат з температурою  $30^\circ\text{C}$  на дві доби.

2. Підрахувати кількість колоній, що вирости на чашках. Щоб не помилитись при підрахунку, кожену колонію необхідно відмічати з дна чашки маркером. Заміряти діаметр чашки за допомогою лінійки. Обчислити мікробне число за формулою Омелянського. Оцінити якісний склад бактерій повітря досліджуваних приміщень. Результати внести до таблиці, наведеної нижче:

Досліджуване приміщення	Кількість мікроорганізмів у $1 \text{ м}^3$ повітря
-------------------------	---

### II. Аналіз мікрофлори води

Сприятливим середовищем для розвитку мікроорганізмів є вода річок, ставків та інших водойм. Чисельність та різноманітність видів мікроорганізмів у воді залежить від вмісту в ній органічних речовин. Особливо багато мікроорганізмів у стічних водах. Їх кількість у забрудненій воді може сягати кількох мільярдів в 1 мл.

Санітарно-бактеріологічне дослідження води включає:

- визначення загальної кількості мікроорганізмів в 1 мл води;
- визначення колі-титру або колі-індексу та, в окремих випадках (при несприятливих епідеміологічних показниках – спалахи холери, тифу, дизентерії та ін.), визначення патогенних мікроорганізмів, їх токсинів та фагів.

#### Правила відбору зразків води для аналізу

Зразки води відбирають у стерильні 0,5 л флакони із водогінних кранів, насосів, труб та ін. Для цього останні попередньо обпалюють полум'ям ватного тампону, змоченого у спирті, потім спускають воду протягом 10 хв для того, щоб змити бактерії, які знаходились у верхній частині труб, і лише потім відбирають зразки. З відкритих водойм воду для дослідження відбирають за допомогою батометра – спеціального приладу, що представляє собою металевий каркас, всередині якого встановлюється стерильний посуд. Батометр дає змогу відбирати зразки з будь якої глибини. Дослідження відібраних зразків води необхідно проводити не пізніше 2 год від моменту забору. Як виняток їх можна досліджувати пізніше, але слід пам'ятати, що після 6 год зберігання зразки води не підлягають бактеріологічному дослідженню, оскільки кількість мікроорганізмів у них суттєво змінюється.

#### Визначення загальної кількості мікроорганізмів у зразках води

Визначення загальної кількості мікроорганізмів (ЗКМ) проводять шляхом глибинного посіву в розплавлений та охолоджений до  $45^\circ\text{C}$  МПА у стерильній чашці Петрі. Чисту воду сіють в об'ємі 1 мл, при підозрі на забрудненість її



розводять стерильним фізіологічним розчином від 1:10 до 1:1000 і висівають не менше двох розведень по 1 мл.

Для цього готують титраційний ряд пробірок з 9 мл фізіологічного розчину. У першу пробірку ряду вносять 1 мл досліджуваного зразка, перемішують і переносять у наступну пробірку 1 мл. Таким чином титрують далі. У кінцевому рахунку одержують розведення 1:10, 1:100; 1:1000 і т.д. Як правило на чашки Петрі висівають не менше двох розведень, кожне з яких у 2-х повторях.

Спочатку на дно стерильної чашки Петрі вносять краплинами 1 мл досліджуваної води або відповідного розведення і заливають 15 мл розплавленим та охолодженим до 45°C МПА. Обережно круговими рухами перемішують, не допускаючи попадання середовища на кришку чашки Петрі та не відриваючи її від поверхні стола. Після застигання агару чашки поміщають в термостат при 28°C.

Якщо досліджуваний зразок води містить значну кількість мікроорганізмів, то можна зробити висів газonom 0,2 мл води на поверхню чашки Петрі.

Відповідно до санітарних вимог питна водогінна вода повинна містити не більше 100 мікробних клітин в 1 мл. Мікробне число у воді колодязів та відкритих водойм не повинне перевищувати 1000.

#### *Визначення колі-індексу у зразках води*

Колі-індекс – це кількість клітин кишкової палички в 1 л води. Його визначають висівом зразка води на диференційно-діагностичне середовище Ендо. *Escherichia coli* на середовищі Ендо утворює темно-червоні колонії з характерним металевим блиском, тому її легко діагностувати. Наявність кишкової палички свідчить про фекальне забруднення води. Воду висівають безпосередньо в товщу чи на поверхню середовища Ендо, або попередньо концентрують клітини фільтруванням досліджуваного зразка крізь мембранні фільтри.

Якщо через 18-24 год культивування при 37°C виростають червоні колонії з металевим блиском, то ці колонії фарбують за Грамом, мікроскопіюють, перевіряють на наявність оксидази і здатності утворювати газ при рості на лактозі. Виявлення у мазках грамнегативних паличок, газоутворення і відсутність оксидази свідчать про наявність у воді *E. coli*. Розраховують кількість клітин кишкової палички на 1л води.

Відповідно до санітарних норм питна водогінна вода повинна містити не більше 3 клітин *E. coli* в 1л, тобто колі-індекс повинен бути  $\leq 3$ .

#### **Завдання**

*Провести визначення кількості К.-і в 1 мл води.*

#### **Хід роботи:**

Для дослідження мікрофлори води необхідно виконати такі процедури:

1. Відібрати зразок води згідно вказаних правил;
2. Висіяти газonom по 0,2 мл води на поверхню МПА і середовища Ендо;

3. Чашку Петрі з МПА культивувати 2-3 доби при 28°C, а з середовищем Ендо – 1 добу при 37°C.

4. Провести визначення кількості К.-і /л.

## **ТЕМА 7. ОЧИЩЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ПІСЛЯ РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ**

ФітореMediaція – комплекс методів очищення вод, ґрунтів і атмосферного повітря з використанням зелених рослин.

Найпростіші методи очищення стічних вод – поля зрошення й поля фільтрації – були засновані на використанні рослин.

Перші наукові дослідження були проведені в 50-х роках в Ізраїлю, однак активний розвиток методики відбувся тільки в 80-х роках ХХ століття. У зв'язку з народженням ефективної й невитратної технології з'явився новий термін «фітореMediaція навколишнього середовища», що припускає відновлення антропогенно порушених екосистем за допомогою рослин. Господарська діяльність людини порушує природні біогеохімічні цикли, забруднює повітря, водойми й ґрунти різними органічними й неорганічними речовинами. Використання різноманітних отрутохімікатів у сільському господарстві й у побуті, відходи двигунів внутрішнього згорання транспортних засобів, включаючи космічні, видобуток і переробка копалин, міські стоки мегаполісів, воєнні дії тощо, приводять до порушення природних циклів і збалансованих умов навколишнього середовища. Так, наприклад, важкі метали й хімічні забруднювачі середовища, накопичуючись і просуваючись по харчовому ланцюзі (ґрунт – рослина – тварина – людина), вражають різні органи тварин і людини, викликаючи захворювання. ФітореMediaційна технологія заснована на здатності рослин видаляти токсичні речовини з навколишнього середовища або перетворювати їх у безпечні з'єднання – метаболіти. У такий спосіб рослини здатні виключити 3 і 4 ланку даного ланцюга, запобігаючи потраплянню важких металів і хімічних забруднювачів в організм людини. Виходить, що фітореMediaція – це ефективна й економічно вигідна біотехнологія, заснована на використанні рослин і асоційованих з ними мікроорганізмів-деструкторів. У силу свого взаємовигідного співіснування рослинно-мікробні асоціації (симбіози) мають більші переваги при виживанні у несприятливих умовах навколишнього середовища. Важливим етапом при розробці технології фітореMediaції є вибір найбільш підходящої рослини; дотепер загальноприйнятого підходу не існує. Використання тих або інших рослин часто ґрунтується на їхній здатності рости на забруднених територіях або просто на доступності насінного матеріалу.

### **Забруднення навколишнього середовища – неминуха реальність сьогодення**

На сучасному етапі урбанізації й розвитку суспільства людині потрібні комфортні житлові умови, тепло й світло, мобільність, також необхідні хімічні засоби захисту від настирливих комах, збудників і носіїв різних хвороб і т.д.

Плата за ці перемоги – життя й здоров'я людей, що живуть сьогодні, а також майбутніх поколінь. У цей час ученими однозначно доведено: чим на вищій стадії розвитку перебуває суспільство, тим більш складним є його екологічний стан.

В економічно розвинених і країнах, що розвиваються, все частіше звертаються до біологічного очищення антропогенно порушеного навколишнього середовища за допомогою рослин. Вони не тільки самі беруть активну участь у процесах фітореMediaції, але й у багатьох випадках сприятливо діють на мікрофлору ґрунтів, підвищуючи ефективність процесів відновлення природних умов. Спільне симбіотичне використання детоксикаційного потенціалу мікроорганізмів і рослин може бути дуже ефективним.

### **Основні причини забруднення навколишнього середовища**

Техногенне забруднення навколишнього середовища, яке почалося в середині минулого століття, прийняло глобальний характер. В 21 столітті ситуація продовжує погіршуватися, оскільки збільшуються темпи зростання світового виробництва й споживання продукції нафтохімічного комплексу. Серед основних джерел забруднення навколишнього середовища поліциклічними вуглеводнями (коксохімічне виробництво, установки спалювання викопного палива – ТЕС, ГЕС, котельні, чорна й кольорова металургія, виробництво будівельних матеріалів, целюлозно-паперова, хімічна, нафтохімічна, паливна промисловості, а також транспорт, комунальне й сільське господарство) головна роль належить підприємствам нафтової галузі.

### **Наслідки діяльності людини**

Території практично всіх бензоаправних станцій, паливних баз, промислових підприємств нафтопереробного комплексу забруднені поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАР). Те ж саме стосується автомобільних і залізничних магістралей. Забруднені ділянки землі при цьому можуть простиратися на більші відстані, що ускладнює проведення традиційних рекультиваційних робіт. Щорічно в результаті «природного витоків» і аварійних розливів на нафтопроводах і родовищах у навколишнє середовище надходить 5 - 10% від добутої нафти, що становить 1,7-8,8 млн. т. Серед вуглеводнів нафти особливу погрозу представляють ПАР, які є персистентними поллютантами, що володіють високою токсичністю й стійкістю до розкладання. Ці речовини характеризуються біоаккумуляцією, є об'єктом трансграничного переносу в повітрі й воді, осаджуються на великій відстані від джерел викидів, накопичуються у воді й наземних екосистемах.

### **Види фітореMediaції**

Сучасні фітореMediaційні технології можуть ґрунтуватися на різних методологічних підходах – це фітоекстракція, ризофільтрування, фітодеградація, фітоволоталізація тощо. Перш ніж використати ту або іншу технологію, варто провести ретельний аналіз місця, яке підлягає відновленню, установити тип токсичного з'єднання, його концентрацію, глибину

проникнення в ґрунт, тип ґрунту, наявність ґрунтових вод, кількість опадів у період вегетації тощо.

**Фотоліз**, тобто розкладання речовин під дією світла, використовується для очистки ґрунтів від хлорпохідних бензолу в умовах їхнього поливу й додавання осаду переробки стічних вод. Якщо в природних умовах витяг хлорпохідних на 50% досягається за 13-622 діб, то при фотолізі необхідний строк скорочується до 11-181 доби.

**Флотація** успішно застосована для відновлення якості землі, пошкодженої при пожежі великого гуртового складу-сховища пестицидів у Швейцарії. Після пожежі ділянка виявилася забрудненою різними хімічними сполуками, у тому числі органортутними. Селективною екскавацією було знято 14200 т забрудненого ґрунту, який відправили на спеціально побудований завод з її збагачення. Технологія очищення ґрунту включала його просівання й здрібнювання із флотацією, при якій було вилучено 95% забруднювачів. Очищений ґрунт повернули на колишнє місце. Забруднену фракцію обробили вапном, потім завантажили в контейнери й розмістили в підземних похованнях у Німеччині.

**Фітоекстракцію** звичайно використовують для очищення ґрунтів і водойм, забруднених важкими металами й радіонуклідами. Особливістю фітоекстракції є поглинання забруднювачів кореневою системою рослин разом з живильними речовинами й транслокація їх у надземні органи. По завершенню вегетації й транслокаційних процесів надземні органи рослин скошуюються й підлягають відповідній переробці. Наприклад, після озолення зібраної біомаси зола стає джерелом кольорових металів. Якщо одержання металів із золи обходиться дорожче їхньої собівартості, то біомасу рослин компостують. Ефективність фітоекстракції визначається коефіцієнтом біоаккумуляції, що дорівнює відношенню концентрації металів у рослинах до концентрації їх у ґрунті або в забрудненій воді.

**Ризофільтрація** – здатність рослин створювати навколо кореневої системи мікросередовище, що сприяє концентрації й проникненню речовин у рослини. Безумовна перевага ризофільтраційної технології полягає в її дешевизні й можливості використати широко розповсюджені рослини, у тому числі й деревні. Для застосування даної технології рослини повинні відповідати наступним вимогам: відрізнятися швидким ростом, інтенсивно накопичувати біомасу, мати потужну кореневу систему. В основному, це широколисті, однодольні багаторічні рослини, що добре ростуть в умовах і теплого, і холодного клімату. Цим вимогам відповідають багато водних і болотних рослин. Рослини перебувають у тісній взаємодії з мікроорганізмами, що заселяють ґрунт. Рослинний організм у ході фотосинтезу акумулює сонячну енергію у вуглеводах (цукрах). Від 10 до 20% всієї накопиченої в процесі фотосинтезу енергії витрачається рослиною на синтез і виділення речовин (цукру, спирти, органічні кислоти) у прикореневу зону, що сприяє розвитку мікроорганізмів. Тому безпосередньо поруч із поверхнею в одному кубічному сантиметрі кореня міститься близько 130 млрд. мікроорганізмів, а в

10 дм<sup>3</sup> їх присутність падає до 20 млрд. Найважливішим механізмом «фітореMediaції» ґрунту є біодеградація вуглеводнів нафти мікроорганізмами, чий розвиток стимулюється виділеннями коренів.

**Фітодеградація** або фітотрансформація — «внутрішнє» руйнування вуглеводнів рослиною — після поглинання розкладання їх у ході метаболічних процесів або «зовнішнє», коли нафтопродукти розкладаються під дією кореневих виділень — безсумнівно, один з основних технологічних прийомів фітореMediaції. Метод заснований на можливості рослин разом із ґрунтовою мікрофлорою здійснювати ферментативне розщеплення органічних токсикантів ґрунту. У процесі деградації органічних речовин, відбувається видалення із ґрунту й неорганічних токсичних забруднювачів, таких як важкі метали й радіонукліди. Фітодеградаційна технологія виявилася ефективною у випадках забруднення ґрунту високими концентраціями аліфатичних, ароматичних, і поліциклічних вуглеводнів, фенолів, пестицидів тощо. Звичайно всі рослини володіють деградаційною токсикантною властивістю. Однак найбільш високі фітодеградаційні характеристики проявляють такі однолітні трав'янисті рослини, як вівсяниця, хрін, люцерна й деревні рослини: дуб, тополя, верба, кипарис. Багато водоростей так само активно метаболізують органічні токсиканти.

**Фітоволоталізація.** Сутність її полягає в здатності рослин до газообміну й транспірації, тобто випару води листами. При цьому токсиканти, що надійшли через кореневу систему, виділяються в атмосферу із транспіраційним струмом. Ця технологія виявилася досить придатною для очищення ґрунтів і водойм від органічних і навіть неорганічних з'єднань на основі селену і ртуті. Однак у цієї технології в ряді випадків є серйозні обмеження — нетрансформовані токсиканти, що виділилися в атмосферу, можуть бути залучені в харчовий ланцюг і бути причиною вторинного забруднення навколишнього середовища.

При забрудненнях водної поверхні або викидах більших кількостей поллютантів, коли з'являються так звані «калюжі», необхідно використати інші методи очищення. Разом з тим, для випадків забруднень, коли поллютанти не утворюють суцільного шару або плівки на поверхні, а проникають углиб ґрунту й попадають у підґрунтові води, найбільш ефективним з технічної й економічної точки зору методом ліквідації забруднення є фітореMediaція. З ризосфери обраних рослин виділяють й тестують штами-деструктори нафтопродуктів. На лабораторних тваринах дають токсикологічну оцінку перспективних штамів на безпеку для теплокровних тварин.

Наступним етапом досліджень є відпрацювання способів інтенсифікації процесів фітореMediaції (за допомогою рослин і мікроорганізмів-деструкторів) шляхом підбора стимулюючих добавок. Далі технологія фітореMediaції випробовується в мікропольових умовах.

**Фітостабілізація** являє собою нагромадження, або іммобілізацію рослиною забруднюючих речовин із ґрунту або ґрунтових вод. При цьому можливі різні механізми процесів — абсорбція поллютантів корінням й

нагромадження їх в рослині. На жаль, із всіх видів рослин, що вивчалися, жоден не показав значного ефекту відносно нафти й нафтопродуктів, хоча деякі добре зарекомендували себе для видалення із ґрунту й ґрунтових вод важких металів.

**Фітовипар** – здатність рослини поглинати нафту або нафтопродукти в процесі підтримки свого водного балансу, тобто разом з водою «викачують» із ґрунту забруднюючу речовину. Ця здатність хоча й може бути використана для очищення забруднень, разом з тим є півзаходом, тому що в цьому випадку забруднююча речовина виводиться в атмосферу в процесі транспірації.

Таким чином, можна зробити висновок, що рослини є не тільки джерелом кисню, їжі й тепла для людини, кормом для худоби й птахів, матеріалом для будівництва тощо, але як фіторемедіанти беруть активну участь у підтримці екологічного балансу на нашій планеті шляхом засвоєння й метаболічної деградації антропогенних отрут.

### **Найбільш ефективні види фіторемедіації**

Більш ефективним є очищення, коли рослина сполучає здатність до фітовипару й фітодеградації, тоді в повітря виводяться тільки безпечні продукти розкладання нафтопродуктів.

У якості об'єднуючого, проміжного між вищевказаними властивостями є так званий гідравлічний контроль, коли рослина одержує доступ до ґрунтових вод і споживає разом з вологою забруднюючу речовину. Згодом вона може або руйнувати, або випаровувати забруднювач.

Здатність рослин до ризодеградації, ще називають ризосфернопоширеною біодеградацією або рослиннопоширеною біодеградацією. Принцип цього механізму полягає в тому, що розкладання забруднюючих вуглеводнів виробляється не самою рослиною, а мікроорганізмами, що живуть у безпосередній близькості до її корінь, тобто в ризосфері. Роль рослини полягає в значному посиленні ефективності роботи мікроорганізмів за рахунок біологічно активних кореневих виділень, хоча результати окремих досліджень показали, що рослини крім стимуляції мікробів можуть і самі брати безпосередню участь у розкладанні вуглеводнів.

### **Переваги фіторемедіації у порівнянні з традиційними методами очищення**

Відомі різні способи відновлення порушених екосистем. Існують фізичні й хімічні (електрокінетичні, промивання, стабілізація, окислювання або відновлення) методи очищення навколишнього середовища. Слід зазначити, що ці способи найчастіше малоефективні й надмірно дорогі, до того ж вони, як правило, приводять до вторинного забруднення навколишнього середовища. Крім того, згадані підходи можуть бути ефективні на невеликих локальних територіях забруднення. Для хімічного й фізичного редукування сміття й забруднень потрібні великі фінансові витрати, що ускладнює реалізацію «зелених» програм. Щоб знищити гори індустріального сміття, очистити заражений ґрунт і отруєні води вчені пропонують вийти з матеріально обтяженого положення, скориставшись доступними природними засобами. Ідея полягає у висаджуванні на уражених територіях рослин, які здатні до

фітореMediaції, що набагато дешевше, ніж будівництво спеціальних очисних споруджень, і до того ж максимально екологічно. Економічна ефективність фітореMediaції є, мабуть, самим вагомим аргументом на користь даної технології. Біологічний спосіб відновлення антропогенно порушених екосистем є найбільш економічним і безпечним. Наприклад, індійський вчений-еколог М. Н. Прасад підрахував, що вартість очищення ґрунтів забруднених важкими металами, радіонуклідами, нафтою й пестицидами за допомогою рослин, що використовують тільки енергію сонця, становить усього 5% від витрат на інші способи відновлення екосистем. Американські дослідники також підрахували, що відновлення звичайним способом одного акра (0,4 га) ґрунту, забрудненим ртуттю до глибини 50 см, у середньому обходиться від 400 тис. до 1 млн 700 тис. доларів США, тоді як застосування фітореMediaційної технології коштує від 60 до 100 тис. Різниця в ціні красномовна. Отже, виявлення із природної флори регіонів видів рослин, здатних до акумуляції ксенобіотиків, є перспективним завданням, що стоїть й перед ученими нашої країни. Існують види рослин, що накопичують надлишок важких металів, а також види, що акумулюють пестициди й руйнують їх до нешкідливого стану. Відомі так звані рудеральні рослини, що виростають на забруднених, непридатних територіях: сарептська гірчиця, буряк, коноплі, лобода тощо. Виявлено, що деякі дикі злакові рослини також пристосовані до забруднених умов ґрунту важкими металами.

### **БИОРЕМЕДИАЦІЯ ГРУНТІВ**

Актуалізація розробки методів екологічної ремедіації забруднених ґрунтів пов'язана зі здатністю різних ремедіантів виконувати функцію оптимізації та відновлення природного стану (структури та функцій) ґрунтової системи, впливаючи на весь комплекс властивостей ґрунтів (біологічних, фізичних, фізико-хімічних), на дозування надходження хімічних елементів у ґрунтовий розчин, міграційні процеси у системі ґрунт – рослина. Тому ефективне використання певного типу та класу методів ремедіації техногенно забруднених важкими металами (ВМ) ґрунтів різного генезису (рис. 4.1) як інструментів впливу на біологічну складову ґрунту має забезпечити виконання задачі детоксикації або деконтамінації забруднення у ґрунтовій системі, заснованих на застосуванні біологічних агентів для очищення ґрунтів. Найчастіше для біореMediaції ґрунтів використовуються мікроорганізми, зазвичай бактерії і гриби; рідше – рослини.

Вибір певної технології біореMediaції ґрунтується на основі таких критеріїв як природні умови місця очищення, властивості ґрунту, концентрація і рівень токсичності поллютанта тощо. Технології, що застосовуються в біореMediaції ґрунтів можна об'єднати в дві групи: методи *in situ* і методи *ex situ*.

**Методи біореMediaції ґрунтів техногенно забруднених ВМ.** Біологічні методи ремедіації забруднених ґрунтів є одним із ефективних інструментів природоохоронних технологій. Тривалий вплив фактора забруднення ВМ на ґрунти різних типів та різного призначення має істотні наслідки, що

виявляються як у порушенні властивостей, структури та функцій ґрунтової системи, так і у зниженні продуктивності рослин, низькій їх якості й необхідності виведення забруднених ґрунтів із використання з подальшою їх консервацією.

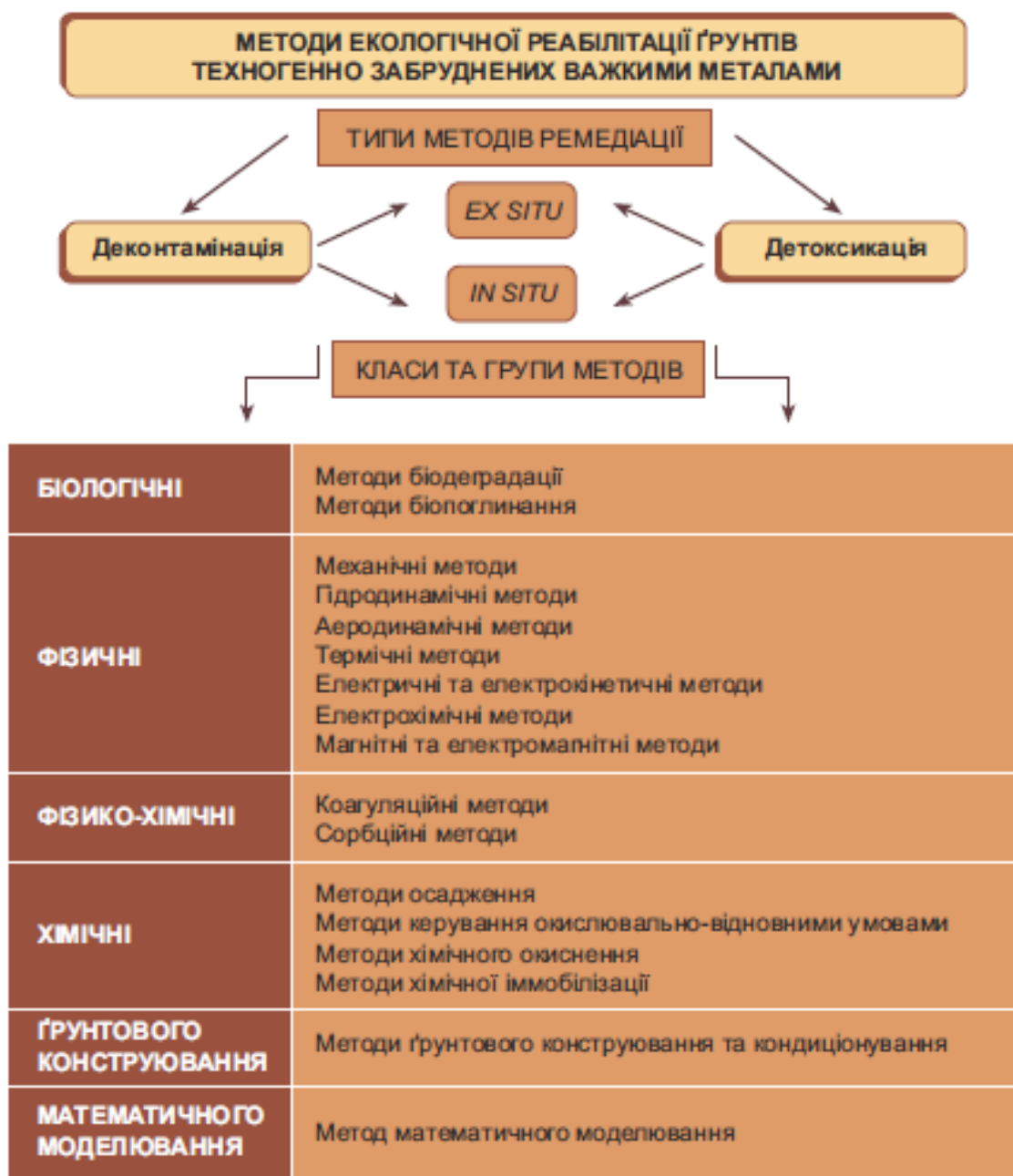


Рис. 4.1. Концептуальна модель диференціації відомих методів ремедіації забруднених важкими металами ґрунтів (В. Л. Самохвалова, 2009)

Пошук ефективних методів ремедіації забруднених ґрунтів є необхідною складовою у вирішенні проблеми, що склалася. Для цієї мети використовують, у тому числі, і методи біоремедіації, базовий принцип дії яких засновано на здатності різних груп живих організмів у процесі своєї життєдіяльності розкласти або акумулювати у своїй біомасі забруднювачі (ВМ, радіонукліди;



азотні, фосфорні та органічні сполуки тощо). За умови відновлення життєздатності й видової розмаїтості природного мікробіоценозу ґрунту біологічні методи є ефективними, проте сам процес очищення забрудненого ґрунту досить повільний і тривалий.

Біоремедіація забруднених ґрунтів і ґрунтів являє собою набір технік.

Відповідно до розробленої вченими концептуальної моделі біоремедіації забруднених ВМ ґрунтів, яка передбачає використання класу біологічних методів ремедіації техногенно забруднених ґрунтів з градацією їх на дві групи – *методи біодеградації забруднювачів* за використання мікроорганізмів; *методи біонакопичення* рослинами та /або перерозподілу забруднювачів у ґрунті за одночасного впливу на біологічну та косну (мінеральні речовини, що є продуктами деструкції гірських порід і утворюються без участі живих організмів, компоненти біологічного колообігу) складові ґрунту. Це призводить до оптимізації його екологічного стану за рахунок збільшення вмісту органічної речовини та його зв'язування глинистими мінералами і поліпшення структурного стану ґрунту, трофічного і газового режимів, властивостей ґрунтової системи в цілому.

Аналіз запатентованих способів біоремедіації забруднених ґрунтів в Україні свідчить про використання амброзії (*Ambrosia artemisiifolia L.*, *Ambrosia trifida L.*), яку збирають до набуття повної фази цвітіння, хоча її використання має обмеження внаслідок алергічної дії на людей; технічних олійних культур – ріпаку (*Brassica napus L.*) або суріпиці (*Barbarea vulgaris R. Br.*), або тифону (*Brassica rapa*) як рослин-аккумуляторів ВМ, висів і вирощування рослин родини *Gramineae* (насадження кукурудзи (*Zea mays L.*) або пшениці (*Triticum L.*)), скошування їх фітомаси та її утилізацію; газонної трави за попередньої обробки насіння розчином гумінового стимулятора-адаптогена; використання стрес-толерантних трансгенних рослин *Triticum L.* до дії ВМ.

За фіторекультивації техногенно забруднених і збіднених ґрунтів розроблено біопрепарат комплексної дії, який одержано з культуральної рідини *Pseudomonas sp. PS-17*, вирощеної на оптимізованому поживному середовищі.

Вченими розроблено спосіб вирощування сільськогосподарських культур на ґрунтах, забруднених радіонуклідами і важкими металами, що передбачає передпосівну обробку ґрунту та насіння шляхом його дражування біогумусом черв'яка. У іншому відомому способі використовують біогумус червоного каліфорнійського черв'яка або біогумус дощового черв'яка разом із природним сапропелем у складі агроекологічного препарату “Біокольчуга”. Ще в одному відомому способі для рекультивації техногенно забруднених ґрунтів також використовують натуральний біогумус і глауконіт за співвідношення компонентів 50–90 та 50–10 вагових (у %). Відомий інший спосіб, що передбачає використання промислового препарату “Гумівіт” як складової суміші, котра підвищує вміст ґрунтових мікроорганізмів.

Українські вчені розробили кондуктометричний біосенсор, який включає селективну до ВМ ферментну систему інвертаза – мутаротаза – глюкозооксидаза та мультибіосенсор, що складається з ферментів, відповідно,

ацетилхолінестерази, бутетрилхолінестерази, уреази, глюкозооксидази, мутаротази – інвертази – глюкозооксидази, селективних до токсичних речовин – ВМ, пестицидів і гербіцидів, з метою точного, селективного, експресного визначення їх вмісту у водних розчинах різних об'єктів довкілля.

Є ще технічні рішення, що передбачають проведення моніторингу вмісту ВМ у ґрунтах, які використовуються для вирощування кормових культур, призначених для виготовлення комбікормів, їх збагачення органічними сполуками селену в концентрації 25–30 мг/кг та пектиновмісними речовинами (10–15 % пектину на суху масу виноградних вичавок), і подальшим моніторингом вмісту селену і ВМ у продукції птахівництва (яйця, м'ясо, субпродукти), що призводить до зниження ризику розвитку серцево-судинних та онкологічних захворювань у людини.

**Методи деградації забруднювачів у ґрунтах за використання мікроорганізмів.** *Принцип дії:* деструкція забруднювачів різними видами мікроорганізмів за рахунок активізації аборигенної мікрофлори або внесення у ґрунт певних культур мікроорганізмів, використання комплексних біопрепаратів та інших методів, створення оптимального середовища для розвитку певних груп мікроорганізмів, що розкладають забруднювач. Ґрунт стає придатним для вирощування рослин.

Для біодеградації ВМ у ґрунтах розроблено спосіб їх очищення шляхом обробки культурою бактерій (штам *Bacillus fastidiosus* ВКПМ В-4368) у рідкому мінеральному живильному середовищі, яке містить вуглеводи. Процес біовилуговування проводять до досягнення значення рН = 4,0–6,0 з витратою рідкого компонента у кількості 0,4–10 масових частин на 1 масову частину ґрунту, що обробляється. Метод ефективний, але є матеріалозатратним (доведення рН 2,8 до рН 4–6 потребує великої кількості нейтралізуючої речовини, витрати 0,4–10 масових частин поживного середовища на 1 масову частину ґрунту також є ресурсозатратними).

За використання методів біодеградації забруднення у ґрунті досить часто використовують методи, що їх посилюють. Так, існуючі механічні методи активізації мікрофлори за стимулювання процесів біодеградації забруднювача у ґрунті передбачають використання розпушування, оранку, дискування, змішування забрудненого ґрунту із осаду стічних вод (ОСВ), змішування забрудненого ґрунту із чистим, що призводить до активізації мікрофлори. Сумісне використання механічних методів із біологічно активними речовинами (передпосівна інкрустація насіння рослин крезацином (20 г/т), обробка рослин (10 г/га) за витрат робочої рідини 300 л/га задля змін ростових процесів)), крім стимулюючої дії на фотосинтетичні процеси рослин, сприяє збільшенню висоти і загальної продуктивності рослин, числа зерен у головному колосі.

Використання біологічних поверхнево-активних речовин для захисту від токсичності Cd у ґрунті сприяє гальмуванню розщеплення органічних сполук у разі одночасного забруднення ґрунту ВМ і органічними речовинами (гідрофобні нафта і нафтопродукти). Встановлено здатність біосурфактанта пом'якшувати токсичність Cd при розщепленні фенантрону за дози Cd

390 мг/кг суглинистого ґрунту та біодоступної концентрації у ґрунтовому розчині 3 мг/л. Пороговою є концентрація 1000 мг/кг фенантрени. Більші його концентрації призводять до зниження активності мікробоценозу ґрунту. Обмеженнями застосування синтетичних лігандів є їхня токсичність, низька деградабельність у ґрунті, що ставить певним чином під сумнів доцільність його використання; перевагою – високі показники константи умовної стабільності комплексів – ВМ-органічний ліганд. До речі, застосування екологічно безпечних біогенних сурфактантів мікробного походження для обробки забрудненого ВМ ґрунту стають більш економічно ефективними, перспективи їх широкого впровадження зростають за рахунок подальшого їх удосконалення та здешевлення внаслідок зростаючої потреби у їхньому розвитку. Дослідження механізмів утворення метал-сурфактантних комплексів має теоретичне значення для пояснення взаємодії біосурфактантів з мікроорганізмами та ВМ ґрунту, формування стійких мікробних клітин до їх впливу. ВМ діють як акцептор електронів (кислота Льюїса), органічні ліганди – як донор електронів (основа Льюїса). Через константи умовної стабільності комплексів – ВМ-органічний ліганд кількісно визначається міцність хімічного зв'язку ВМ і ліганду катіонних біосурфактантів (рамноліпідів, фульвової, оцтової, щавлевої та лимонної кислот) базується на утворенні координаційних сполук.

У ґрунті величини константи умовної стабільності комплексів ВМ-органічний ліганд утворюють такий ряд за М. Irving та R.J. Williams:  $Al_3^+ > Cu_2^+ > Pb_2^+ > Cd_2^+ > Zn_2^+ > Fe_3^+ > Hg_2^+ > Ca_2^+ > Co_2^+ > Ni_2^+ > Mn_2^+ > Mg_2^+ > K^+$ . Такий порядок є максимально наближеним до ступеня комплексоутворення ВМ з органічною речовиною ґрунту.

Продукт змішування забрудненого ґрунту з осадами стічних вод, за умови дотримання вимог щодо вмісту ВМ у ОСВ та у ґрунті, розглядається як добриво, що підвищує біологічну активність ґрунту за активізації мікроорганізмів, іммобілізує ВМ шляхом їх переведення у малодоступні для рослин форми за рахунок абсорбції органічною речовиною ОСВ. Отже, забезпечується ремедіація забруднених ВМ ґрунтів.

За J. Ronald ремедіаційну здатність добрива з ОСВ можна підвищити за його компостування з біопрепаратами, вапном, у суміші з деревними відходами, гноєм, соломомою із підвищенням частки органічних компонентів шляхом попереднього зневоднення до 35 % сухої речовини. У Німеччині для видалення з ОСВ (з концентрацією сухої речовини до 45 %) ВМ і токсичних органічних домішок, що перешкоджають використанню їх як добрива, пропонується змішувати його з гарячим, прожареним, частково кальцинованим глинистим мінеральним матеріалом (ГММ) фракцій 1–10 мм, що має значну сорбційну ємність. Після перемішування більші фракції ГММ, насичені токсикантами, транспортують до місць поховання, а знешкоджений ОСВ використовується як добриво.

У країнах ЄС організовано використовується 35–40 % ОСВ із подальшою тенденцією до збільшення, у Україні – 10 %. Директиви СМ 91/271, СМ

86/278 (міжнародні документи) регулюють використання ОСВ у ЄС. У Німеччині з 1992 р. межа внесення ОСВ становить 5 т/га за 3 роки. Основні обмеження до використання ОСВ визначають наявність ВМ і радіонуклідів, рівень скидання промислових стоків на міські очисні споруди, гідрогеологічні умови.

Обмеження щодо застосування добрив з ОСВ на міських ґрунтах визначаються ГОСТ Р 17.4.3.07-2001. Дози органічних добрив з ОСВ на забруднених ґрунтах визначають за урахування якості осаdів, біологічних особливостей рослин, вимог охорони довкілля; властивостей ґрунтів (механічний склад, вміст гумусу, кислотність), тому що залежно від цих факторів змінюється рухомість ВМ (Cd, Zn, Ni), їх транслокація до рослин, міграція у глибинні шари ґрунтів і ґрунтові води. На легких піщаних ґрунтах рухомість ВМ є вищою (міграція на глибину від 50 см і нижче), а на суглинках і глинистих ґрунтах ВМ затримуються в шарі глибиною до 25 см. Дози не мають перевищувати 30–40 т ОСВ /га за три роки за суцільного внесення й 3–5 кг /м<sup>2</sup>, розраховуючи на кожні 10 см ґрунту за поверхневого і локального (траншейний або прикореневого) способів внесення добрива. Діючих норм щодо застосування добрив з ОСВ на ґрунтах в Україні не розроблено.

Активізацію біодеградації забруднювачів за рахунок підтримки оптимальної температури проводять шляхом покриття чорною поліетиленовою плівкою взимку забрудненого ґрунту для підвищення температури, влітку – використовують прозору плівку для зниження випаровування з поверхні.

**Методи електрокінетичної активізації біодеградації** включають використання електричного струму, що забезпечує міграцію мікроорганізмів, які мають власний заряд, у забрудненій зоні та збільшення швидкості, ефективності рівномірного очищення ґрунту. Ультразвук використовують для активізації біодеградації, що включає руйнацію великих ґрунтових агрегатів для збільшення доступності забруднювача для мікроорганізмів.

Питання моніторингу біоремедіації забрудненого ґрунту за використання посилення біологічної активності ґрунту розглядається у публікаціях зарубіжних дослідників. Відзначається, що зростаючий техногенний вплив на довкілля призводить до локального забруднення ґрунтів. Із ґрунту небезпечні й небезпечні для здоров'я людини речовини по трофічних ланцюгах мігрують до сільськогосподарської продукції, тварин і людини. Забруднення ґрунтів призводить до зниження їх родючості й погіршення екологічного стану, деградації рослинності, погіршення її якості.

Поліпшення умов аерації ґрунту також сприяє біодеградації забруднення ґрунтів шляхом продування ґрунтів і ґрунтових вод повітрям під різним тиском у поєднанні із введенням поживних речовин через горизонтальні отвори разом із повітрям або розбризкуванням мікрочасток поживних розчинів.

Активізація мікроорганізмів за рахунок накачування у ґрунти хімічно активних пін має високу ефективність завдяки комплексному впливу як на поліпшення газового режиму, так і на оптимізацію балансу поживних речовин ґрунту.

**Методи нейтралізації для активізації біодеградації** забруднення ґрунту ВМ включають використання на кислих ґрунтах вапна, на лужних – гіпсу, мінеральних азотних добрив. Реакція мікроорганізмів залежить як від токсичності забруднювача, так і від властивостей меліоранта, що застосовується, та властивостей ґрунту. Так сечовина разом із сіркою прискорює біодеградацію ВМ на дренажних піщаних ґрунтах, на сірих лісових ґрунтах – найбільш ефективним є комплекс азотних, фосфорних, калійних добрив і перегною.

**Методи внесення мікробних культур.** Доцільність їх використання обумовлена відсутністю розвиненого природного мікробіологічного ценозу за імпаکتного характеру забруднення.

*Переваги використання:* селективність і можливість виведення штамів мікроорганізмів, що піддають деструкції токсиканти ґрунту.

*Обмеження використання:* ефективність мікробних культур не є однакою високою через вузький діапазон сприятливих умов функціонування; ризик прояву явища виродження мікроорганізмів до досягнення необхідного рівня очищення ґрунту; ризик порушення природних мікробіоценозів за застосування мікробних культур.

Для очищення використовують бактерії *Actinomyces*, *Arthrobacter*, *Thiobacterium*, *Desulfoiomaaculum*, *Pseudomonas*, *Bacillus* та гриби з бактеріальними генами. Так, внесення мікроорганізмів *Aspergillus* sp., *Penicillium* sp., *Streptomyces* sp., *Bacillus* sp. є ефективним за ремедіації ґрунту від ВМ, радіонуклідів, сульфатів – *Thiobacillus thioparus*, *T. thiooxidans*, сульфідів – *Thiosphaera pantotropha*, *T. denitrificans*. У складних випадках забруднення ґрунту ВМ найбільш ефективним є його очищення комплексними біопрепаратами, що містять спектр культур і водночас поживні речовини.

У Франції створено п'ять біоцентрів різної потужності (3 000–5 000 т /рік) з очищення ґрунтів. Перспективи розвитку цього напрямку розглянуто у роботі Van Den Bos Valerie (1997). У центрах *in situ* використовують різні бактерії, за допомогою яких одержують компост. Розроблено метод утилізації відходів, отриманих при виробництві, кондиціонуванні й використанні полісірчистих сполук шляхом їх переробки. Відходи містять органічні забруднювачі й метали (Fe, As, Ni, Cr, Sb), які переводять у лужний розчин із подальшим біологічним окисненням за допомогою бактерій і перетворенням у суміш фосфатів, фосфідів, тіофосфатів, сульфатів і хлоридів. Відмічено, що для обробки потрібна велика кількість реактивів.

Біологічні методи утилізації активного мулу, що містить ВМ, вивчали і в Україні. Використанню активного мулу як добрива перешкоджає високий вміст ВМ, що перебувають у формі малорозчинних металоорганічних (хелатних) сполук, погано засвоюваних рослинами. Крім очищення осаду від хелатних комплексів до рівня ГДК, необхідно домогтися переведення у водорозчинну форму значної кількості іонів металів. Спеціальна біологічна обробка активного мулу сприяє переведенню частини металів у водорозчинну форму, зниженню концентрації  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ . Метод дає змогу використовувати отриманий

концентрат металів і значну кількість органічних речовин мулу у вигляді добрива.

У Німеччині вивчали процеси біовилуговування для очищення ґрунтів, забруднених ВМ, за допомогою автотрофної бактерії *Thiobacillus* spp., що продукує сірчану кислоту і її вплив на форми зв'язку ВМ: Ва, Cd, Со, Сu, Ні, Рb, Sr, Ті, Zn за рН 4,5 і 2,0 із подальшим поетапним екстрагуванням. Найбільше вилучення ВМ (90 %) установлено для Ва, Сu, Рb, для Cd, Со, Ні, Sr – 60–80%, найменше – для Ті (20 %). Зниження рН із 4,5 до 2,0 викликало збільшення екстрагування різних фракцій ВМ (5–10 %), у тому числі і залишкової фракції. Виняток становили Ва, Рb і Sr, що утворюють важкорозчинні солі. При зниженні рН їх кількість у розчині збільшувалась.

Біорекультивація порушених ландшафтів з використанням добрив, виготовлених на базі місцевої сировини, проводилася й у Грузії. Використовували силікатні бактерії, що збагачують ґрунт гумусом, рухомими формами Р та К. Застосовували органічні відходи й меліоранти (глина, лес, вапно), що впливало на підвищення врожайності сільськогосподарських культур на 25–30 %.

**Методи біопоглинання** включають фітореMediaцію (різні види рослин) та зооремедіацію (мікрофауна ґрунту, дощові черв'яки тощо), що прискорюють біодеградацію забруднювачів у ґрунтах.

До методів фітореMediaції належать природна фітореMediaція, штучна фітореMediaція. Природну фітореMediaцію використовують за інтенсивного природного заростання полів фільтрації дикоростучими видами, що накопичують ВМ та інші забруднювачі, штучну фітореMediaцію – за додавання у ґрунт поживних речовин разом із висівом фітореMediaторів для інтенсифікації процесів ремедіації ґрунтів, що триває за таких умов десятки-сотні років; використання технології застосування металоакумулюючих рослин спеціальної селекції на забруднених ВМ і радіонуклідами ґрунтах.

Варто виділити два способи штучної фітомеліорації – підвищення доступності ВМ для рослин і екстрагування їх із ґрунту толерантними видами – акумуляторами, що швидко дають приріст і утворюють велику біомасу. Для підвищення біодоступності ВМ застосовуються різні хелатуючі агенти, зміну рН ґрунтового середовища, окислювально-відновні добавки, використовують явище антагонізму іонів за створення конкуренції між іонами ВМ за сорбційні місця тощо.

Арсенал фітореMediaції за способами впливу на забруднювач ґрунту включає можливість використання чотирьох основних методів:

фітостабілізація – нагромадження, або іммобілізація рослиною забруднюючих речовин із ґрунту або ґрунтових вод за реалізації різних механізмів процесів (абсорбція ВМ корінням і нагромадження їх у рослині, адсорбція ВМ у прикореневій зоні (ризосфері) і /або їхнє осадження);

фітодеградація – руйнування забруднюючих речовин із ґрунту рослиною в ході метаболічних процесів після поглинання або за впливу корневих виділень до поглинання;

фітовипаровування – здатність рослини поглинати забруднюючі речовини із ґрунту або ґрунтових вод у процесі підтримки водного балансу за виведення забруднювача у процесі транспірації;

ризодеградація – розкладання забруднювачів мікроорганізмами ризосфери; посилення ефективності функціонування мікробіоти за рахунок біологічно активних кореневих виділень рослин.

Альтернативну систему раціонального використання екологічно чистих життєвих форм (біоформ) і видів рослин в урбанізованих регіонах запропоновано і в Україні. Передбачається створення механізму залучення у виробництво видів і біоформ рослин за умов забруднення (як форм вегетативного тіла, що не залишаються постійними, а змінюються у часі за онтогенезу рослин і являють собою типові адаптаційні організмові системи, сформовані у певних ґрунтово-кліматичних і ценотичних умовах) з метою рекультивації забруднених ділянок без додаткових витрат. Актуальним напрямом досліджень, на думку вчених, є виділення біоформ рослин із мінімальним рівнем виносу ВМ і відносно високим рівнем адаптації до забруднення ґрунту й рівня урбанізації регіону.

Важкі метали ґрунту поглинаються як культурними, так і дикоростучими рослинами. У КНР під час вивчення впливу органічного матеріалу на трансформацію та міграцію оксидів ВМ у ґрунті встановлено, що за додавання порошку люцерни (*Medicago sativa*), як сидерату, істотно збільшилася кількість органохелатованих Fe, Mn і Al, встановлено прискорення біодеградації контамінантів.

В інших роботах за дослідження впливу ризосферного органічного матеріалу на рухомість ВМ у ґрунті й розподіл природних ґрунтових форм Fe відзначено, що органічний матеріал поліпшував трансформацію форм Fe у комплексно сполучені й аморфні оксиди ґрунту ризосфери, сприяв підвищенню коефіцієнта активності Fe. Встановлено меліоруючий ефект калію щодо токсичності заліза для гібридного рису.

У Україні розроблено спосіб рекультивації забруднених земель, який включає боронування ґрунту і використання добавок із перероблених рослин (полова містила невідвіяні залишки рослин: жита посівного (*Secale cereale*), капусти (*Brassica oleracea*), ріпаку (*Brassica napus*), фацелії пижмолистої (*Phacelia tanacetifolia Benth.*), полину Сіверса (*Artemisia sieversiana Willd.*), ромашки Хукера (*Tripleurospermum hookeri Sch. Bip.*), вівсяниці червоної (*Festuca rubra L.*), пирію повзучого (*Elytrigia repens L.*), лисохвісту очеретяного (*Alopecurus pratensis L.*), бекманії звичайної (*Beckmannia eruciformis*), мітлиці велетенської (*Agrostis gigantea Roth.*), арктофіли рудуватої (*Arctophila fulva (Trin.) Anderss.*), луговика дернистого (*Deschampsia cespitosa*), куничника Хольма (*Calamagrostis holmii Lange*) тощо) для відновлення забрудненого ВМ рослинного та ґрунтового покриву.

У США запатентовано спосіб створення ґрунтового середовища росту із додаванням розчинного кремнійорганічного полімеру, за використання сфагнового моху, різних видів торфу, компостованої або сирої кори дерев,

компостованих органічних відходів, перліту, вулканічного попелу, вермикуліту, пластмасових матеріалів або їх суміші та додавання джерела розчинного Si у концентрації, достатній для підвищення рівня абсорбованого рослинами Si, необхідного для утворення фітолітів. У рослин підвищуються посухостійкість, структурна стабільність і стійкість до токсинів. Ґрунтове середовище росту включає також інші добавки: K, P, Ca, Mg, S, B, Mo тощо.

Для фітостабілізації використовують толерантні до токсичної дії ВМ рослини. Інтенсивність прояву симптомів токсичності, викликаних надлишком катіонів ВМ, варіює залежно від виду рослин. Так, накопичення Zn та Ni знижується у ланцюгу: пшениця (*Triticum L.*) – овес (*Avena L.*) – редис (*Raphanus sativus*); Cd: *Triticum L.* – *Raphanus sativus* – *Avena L.* Зниження стійкості до накопичення Cr у товарної частини овочевих культур відбувається в ряді: капуста (*Brassica oleracea*) – картопля (*Solanum tuberosum*) – морква (*Daucus carota L.*) – буряк столовий (*Beta vulgaris*) – петрушка (*Petroselinum L.*) – кріп городній (*Anethum graveolens*); Cd – *Brassica oleracea* – *Solanum tuberosum* – *Beta vulgaris* – *Daucus carota L.* – кукурудза (*Zea mays L.*) – *Petroselinum L.* – *Anethum graveolens*; Pb – *Solanum tuberosum* – *Brassica oleracea* – *Zea mays L.* – буряк кормовий (*Beta vulgaris L. subsp. vulgaris var. crassa*) – *Beta vulgaris*; Zn – *Brassica oleracea* – *Solanum tuberosum* – *Zea mays L.* – *Beta vulgaris* – *Beta vulgaris L. subsp. vulgaris var. crassa* – салат (*Lactuca sativa L.*) – *Petroselinum L.* – *Anethum graveolens*.

Толерантність зернових культур оцінено за рівнем максимально можливої продуктивності, показників якості зерна та вмісту ВМ у товарній продукції в межах ГДК. Встановлено, що толерантність змінюється так: просо (*Panicum L.*) > озимі зернові (*Secale cereale, Triticosecale, Triticum L.*) > горох посівний (*Pisum sativum*) > ярові зернові (*Triticum L., Hordeum vulgare, Triticosecale, Avena sativa*). Сильними фітостабілізаторами є багаторічні трави: люцерна (*Medicago sativa*), козлятник (*Galega officinalis*).

Для фітоекстракції ВМ з ґрунту використовують спеціально підібрані види рослин-гіперакумуляторів, таких як бурячок стінний (*Alyssum murale*), резуха Галлера (*Cardaminopsis halleri (L.)*), гірчиця сарептська (*Brassica juncea*), петрушка кучерява (*Petroselinum crispum*) та ін. Коефіцієнт накопичення ВМ у рослинах посилюють завдяки внесенню у ґрунт ефекторів фітоекстракції (ЕДТА, ДДДА, ДТПА) і регуляторів росту рослин, наприклад препарату “Корневін”.

Результати дослідження захисних механізмів рослин у разі забруднення ґрунтів ВМ на основі біоаккумуляції забруднювачів представлено групою дослідників з України. Запропоновано використовувати деякі дикоростучі рослини для зниження вмісту ВМ у ґрунтах за рахунок їхньої акумуляції у різних частинах рослин (Cu, Zn, Mn, Fe і Pb – у листі рослин, Cr і Pb – у стеблах; Pb, Zn, Ni, Cr, Cu, Fe і Mn – у корінні рослин). Встановлено, що поглинання ВМ залежить від виду рослин і змінюється в їх онтогенезі. Наприклад, рослини виду *Chenopodium album L.* більше накопичують Zn і Cu; *Taraxacum officinale Wigg.* – Fe; *Calamagrostic epigeios (L.) Roth.* і *Melilotus*



*officinalis* (L.) Pall. – акумулювали Cu і Fe. Гіперакумуляторами Zn, Cr і Cu є *Artemisia vulgaris* L., а переважно Cr, Zn і Pb – *Artemisia absinthium* L. Відзначено позитивну роль стійких до дії ВМ симбіотрофних мікроорганізмів (асоціативні та бульбочкові бактерії) у процесах акумуляції рослинами і трансформації ВМ у ризосфері.

У США досліджено можливість фітомеліорації забруднених Pb ґрунтів і роль *синтетичних хелатів* у фітоекстракції Pb. За забруднення Pb 2 500 мг/кг ґрунту хелати підвищували концентрацію Pb у стеблах кукурудзи (*Zea mays* L.) й гороху (*Pisum sativum*) з 500 до 1 000 мг/кг. EDTA істотно підвищував транслокацію Pb із коренів у стебла. За ступенем ефективності хелати розподілено у такій послідовності: EDTA > HEDTA > DTPA > EGTA > EDDHA.

За вивчення морфологічних і екологічних особливостей кормових культур – біомеліорантів – з'ясовано можливість використання амаранту (*Amaranthus* sp.) для біологічної меліорації деградованих земель. Як фітомеліорант використано *Thlaspi caerulescens* у Новій Зеландії, де вивчали поглинання Cd, Zn, Pb, Mn цією рослиною у дослідках і у природних популяціях на шахтних відвалах, забруднених Pb і Zn на півдні Франції. Показана його ефективність для фітомеліорації за низького вмісту Cd у ґрунті (10 мкг/г). У той же час очистити ґрунт менш ніж за 10 років неможливо через низьку біомасу рослин і високий рівень вмісту Cd у ґрунті.

Фітомеліорація деградуєчих ґрунтів за допомогою соргових культур у Україні підвищила урожай рису на 3–5 ц/га. Випробування зернового сорго сприяло підвищенню врожаю зерна в межах 45–67 ц/га за зниження об'ємної маси ґрунтів і зменшення вмісту токсичних іонів (СГ).

У Болгарії вивчали здатність конопель (*Cannabis sativa* L.) послабляти забруднення ґрунту ВМ шляхом вирощування сільськогосподарських культур у зоні впливу комбінату кольорових металів у сівозміні “озимий горох – озима пшениця – озимий ячмінь – коноплі – озима пшениця”, “кукурудза – озима пшениця”. Коноплі екстрагують набагато більше Pb, Cd, Cu і Zn порівняно з іншими культурами. Найменшим виносом ВМ характеризувалась озима пшениця. За вмістом ВМ горох на забруднених ґрунтах близький до конопель, але їхній винос менший (біомаса конопель більша). Включення до сівозміни конопель і гороху забезпечувало значне зниження забруднення ґрунту ВМ.

За вивчення взаємозв'язку накопичення ВМ у системі ґрунт–рослина підтверджено, що фітореMediaція забруднених ґрунтів набагато дешевша порівняно з рекультивацією та реплантацією забрудненого ґрунту насипним чистим ґрунтом.

У дослідженнях зарубіжних вчених вивчено питання біодоступності ВМ, урахуваючи методи екстракції, моделі активності вільних іонів і адсорбції, мультиваріативні моделі регресії; співвідношення кількості ВМ у ґрунті й інтенсивності транслокації як показник накопичення металів, форми металів у ґрунті. На підставі цих даних розроблено методи відновлення забруднених Ni ґрунтів за використання рослин *Alyssum murale* і *Alyssum corsicum*.

Застосування фітомеліорантів за деконтамінації чорноземів, забруднених ВМ включає способи фітосанації, що засновані на стійкості рослин до забруднення та їх здатності поглинати з ґрунту в значних кількостях ВМ за подальшої утилізації або поховання рослин (дикорослі та культурні види, наприклад бавовник (*Gossypium*), буряк (*Beta vulgaris L.*), деякі бобові і лікарські рослини), що є непридатними для споживання без спеціальної обробки. У разі забруднення ґрунту Рb слід використовувати бобові культури: вику (*Vicia sativa vulgaris*), люцерну (*Medicago sativa*), горох (*Pisum sativum*), чорні боби (*Vicia faba*) тощо. На забруднених ґрунтах, де вирощуються харчові і кормові рослини економічно виправданим є застосування гірчаку сахалінського (*Polygonum cuspidatum sieb. et zucc*), який за рік може з 1 га поглинути 24 кг Рb і близько 2,3 кг Cd. Протягом вегетації гречку скошують тричі, зелену масу (до 200 т/га) вивозять за межі забрудненої ділянки й утилізують.

За забруднення ґрунту Рb і Cd доцільним є також багаторічне використання вербняку (*Cytisus*, його пагонами з ґрунту вилучено Рb до 4,0 %, Cd – до 13 %) та рослин чайного куща (*Camellia sinensis L.*), які витримують концентрацію 100 мг/кг Рb ґрунту без істотного впливу на фізіологію рослин і якість урожаю; вирощування зернових (*Triticum L.*), що мало акумулюють Cd у рослинах і зерні. Відмічена генетична варіабельність сортів пшениці щодо акумуляції Cd протягом сезону. Вміст Cd у надземних органах протягом вегетації зменшується за рахунок ефекту розбавлення й інтенсивного зростання і транслокації у зерно за підвищення його вмісту. Прямого зв'язку між вмістом Cd у ґрунті і його транслокацією до рослин не встановлено, тому необхідно враховувати вплив рН; вміст форм (валова, рухома) Cd, глини і органічної речовини у ґрунті. Відмічається, що ефективний фіторемедіант забрудненого ВМ ґрунту має відрізнятися високою стійкістю до забруднювача; здатністю накопичувати високі рівні ВМ у біомасі; наявністю розгалуженої кореневої системи, яка потенційно здатна поглинати надмірні кількості води з ґрунту, характеризуватися високим потенціалом росту. Проте за високої толерантності до забруднення трав'янисті рослини, як правило, повільно ростуть, характеризуються низьким потенціалом продукування біомаси. І навпаки, висока біомаса дерев із розгалуженими коренями, характеризується невисокою толерантністю до забруднюючих речовин.

В.Б. Ільїн (2003) за оцінювання захисних можливостей забрудненої Рb системи ґрунт–рослина встановив, що базова роль у захисті рослин від надмірного вмісту Рb у рослині належить буферній здатності ґрунту, а захисні можливості рослини менш значні.

У дослідженнях Stilwell D.E., Gorny K.D. (1997) вивчено ефективність використання кислих розчинів на ґрунті, забрудненому Cu, Cr, As, що надходили з дерев'яних дек (помостів, перекриттів), оброблених значною кількістю хромованого арсенату міді. Запропоновано вилуговування металів із ґрунту кислими розчинами з рН 4,1–4,5 у встановленому діапазоні концентрацій забруднювачів 1 000–5 000 мг/кг.

Біологічна рекультивация ґрунтів буровугільних розробок Польщі розглядалася за досліджень ґрунтів колишнього буровугільного родовища, що складаються із четвертинних і третинних порід, містять дисульфід Fe – пірит і марказит.

У процесі їх хімічного та біологічного окислювання утворюється сірчана кислота, що викликає зниження  $pH < 3$ , формує токсичне середовище. Біологічна рекультивация можлива за допомогою лісових культур сосни звичайної (*Pinus silvestris*), що змінює хімізм ґрунту при додатковому внесенні добрив (NPK) і вапна.

Видалення іонів ВМ із водного розчину за допомогою модифікованої кори досліджено у Франції. Продукт відходів деревообробки (кора *Picea*, *Pinus*, *Pseudotsuga*, *Larix*, *Tectona*, *Azalia*) – використовувався для селективного видалення катіонів особливо токсичних ВМ (Pb, Zn, Cr, Fe, Си) з моно - та/або мультисольових розчинів. Метали заміщували протони на коркових субстратах, що містять карбоксильні групи у пектинових і танінових компонентах. Видалення іонів залежало від виду кори, розміру її волокон і надлишку іонів певного ВМ у розчинах. Іони металів відмивали додаванням 0,1N HCl за відновлення субстрату.

Питання фітомеліорації за використання дерев для очищення ґрунту від забруднення ВМ розглянуто у роботах українських вчених. Виявлено більше 400 порід, що є придатними для цієї мети. Проведені у Німеччині й США дослідження показали, що кожна порода дерев здатна поглинати із ґрунту тільки один–два певних забруднювачі, висадження на одній ділянці кількох порід дерев для очищення ґрунту потребує попереднього розгляду питання їхньої біологічної сумісності й комплексного підходу до дослідження цієї проблеми на рівні “забруднені ґрунти – дерева – вода – фауна”. Фітомеліорація розглядається як стійка стратегія очищення ґрунтів.

Дослідження зміни доступності рослинам і концентрації Cd у ґрунті після тривалого вирощування *Salix L.* (*Salix caprea*, *Salix cinerea*, *Salix viminalis*, *Salix dasyclados*, *Salix daphnoides*, *Salix triandra*, *Salix purpurea*) проводили у Швеції. Установлено достовірне зниження вмісту обмінних форм Cd при сталих величинах валового його вмісту в ґрунті. Констатовано поглинання Cd вербою (*Salix L.*) із глибоких шарів ґрунту, що пояснюється порівняльною сталістю валового вмісту Cd і щорічним приростом біомаси верби (10 т/га/рік). Найбільш ефективними гіперакумуляторами Cd виявились *Salix caprea*, *Salix cinerea*, *Salix viminalis*.

Фітомеліорація забрудненого Pb ґрунту у США передбачала сумісне використання меліорантів ґрунту та рослин концентраторів ВМ (*Brassica juncea*), що дало змогу одержати більшу біомасу рослин та досягти значного акумулювання ВМ. Середній вміст Pb у поверхневому шарі ґрунту зменшився на 13 % протягом однієї вегетації на 72 % оброблюваної площі. В іншій розробці встановлено ефективне екстрагування ВМ із ґрунтів, використовуючи *Festuca arundinacea Schreb.* і *Andropogon gerardii*. Екстрагування металів (Cd,

Cu, Pb) збільшувалося до 20 разів. Наявність рослин підвищувало концентрації Zn і Cu у промивних водах, але на вміст Pb не впливало.

Використання рослин для ремедіації ґрунтів і стічних вод, забруднених ВМ, надано у результатах дослідження російських учених. Установлено, що кукурудза (*Zea mays*), гірчиця сарептська (*Brassica juncea*), кушир темно-зелений (*Ceratophyllum demersum*) здатні продукувати високу біомасу й акумулювати ВМ на забруднених ґрунтах, а водний гіацинт – ейхорнія (*Eichhornia crassipes*) – у водоймах. Внесення *in situ* у ґрунт ефектора фітоекстракції хелатоутворюючого агента збільшує акумуляцію ВМ у рослинах і їхнє переміщення з кореневої системи у надземну біомасу. Забруднена біомаса рослин може бути використана для рекуперації коштовних кольорових металів як біопаливо для енергопостачання фіто- і ризофільтраційних систем, для одержання CH<sub>4</sub>.

В Україні запропоновано проведення фітоекстрагування Cu і Ni із забрудненого чорнозему використовувати гірчицю сарептську та зростаючі дози ефектора фітоекстракції – хелатоутворюючого агента, вирощування рослин протягом однієї вегетації.

Оцінювання ефективності біомеліорації ґрунту, забрудненого ВМ, під час використання найбільш адекватних тестів токсичності (виживання хробаків, пророщування насіння) проводили у Канаді. Констатовано, що труднощі, які виникають за використання тестів, пов'язані з нечутливістю до зміни рівнів вмісту ВМ ґрунту і з різним гранулометричним складом ґрунту тощо. Результати свідчать про необхідність використання серії тестів у поєднанні з хімічними аналізами для оцінювання ефективності біомеліорації.

Огляд принципів, методів, динаміки досліджень щодо фітомеліорації забруднених ґрунтів подано у роботах дослідників із КНР. Розглянуто типи, характеристики, потенціал гіперакумуляторів, сучасні підходи з використанням генної інженерії та молекулярної біології. Обговорюються можливості розробки й використання на практиці нових ефективних підходів до екологічного відновлення забруднених ґрунтів.

Як один із організаційних заходів, застосовуваних у забруднених регіонах, широкого розповсюдження набула лісомеліорація. Різні аспекти лісової меліорації в умовах техногенезу представлено також у роботах, розроблених і запатентованих ученими Німеччини, США, Канади, Китаю, Камеруну. За її проведення на техногенно забруднених ґрунтах слід ураховувати здатність захисних лісових насаджень локалізувати ВМ промислових підприємств, знижувати токсичність від перенасичення середовища забруднювачами, очищати ґрунт, повітря, воду від шкідливих домішок, бактерій. Актуальною є розробка нових підходів до проектування, створення санітарно-захисних насаджень в умовах критичного стану об'єктів довкілля на глобальному, національному, регіональному й місцевому рівнях. Учені з різних країн світу вказують на важливість переоцінки окремих пріоритетів у захисному лісорозведенні, підкреслюючи екологічні аспекти

формування деревної рослинності залежно від ступеня техногенного навантаження ґрунтів.

Відновлення техногенно забруднених ВМ ґрунтів за використання біологічних методів є перспективним напрямом, що динамічно розвивається. Переваги використання біологічних методів ремедіації ґрунтів є такі: екологічна чистота й безпека використання біологічних методів ремедіації, мінімальне порушення фізичного й хімічного складу ґрунтів; їх застосування не потребує значних витрат матеріальних ресурсів; висока ефективність за низьких концентрацій забруднювача. Перспективи подальшого розвитку методів біоремедіації ґрунтів за впливу фактора забруднення ВМ пов'язані з розробкою нових способів екологічно безпечного використання хімічно деградованих ґрунтів за використання біологічних методів і за вирішення таких задач:

- 1) аналіз сучасних методів і технологій біоремедіації ґрунтів;
- 2) моніторинг ґрунтів за дослідження змін властивостей і функцій ґрунтової системи та проведення біоремедіації техногенно забруднених ВМ ґрунтів;
- 3) наукове обґрунтування спектра рослин, сівозмін культурфітоценозів, що є придатними для використання як фітомеліоранти за різних рівнів і характеру забруднення ґрунтів різного генезису;
- 4) розробка мікробних і ферментних препаратів, дослідження їх впливу на властивості ґрунту, на здатність до біодеградації ВМ і за їх використання для розроблення нових способів і технологій ремедіації забруднених ґрунтів;
- 5) проведення еколого-економічного оцінювання ефективності використання біологічних методів ремедіації ґрунтів для ефективного менеджменту ґрунтовими ресурсами.

Інноваційна діяльність у сфері відновлення й охорони ґрунтів від забруднення має передбачати обов'язкове проведення інформаційних досліджень тенденцій розвитку за обраним напрямом, розробку нових способів як результат такої діяльності.

#### **Біоремедіація in situ.**

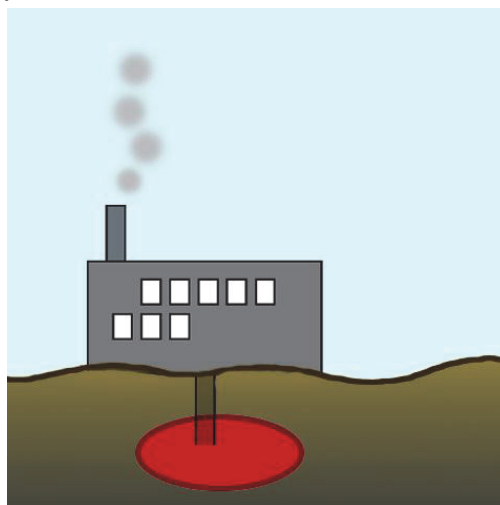


Рис. 4.2 Біоремедіація in situ

Біоремедіація *in situ* заснована на очищенні середовища від поллютанта без видалення забрудненої ґрунту з району забруднення.

Оскільки технології цього типу не вимагають проведення землерийних робіт, вони є більш дешевими, створюють менше запилення повітря і вивільняють менше летючих поллютантів, ніж технології *ex situ*.

Один з підходів біоремедіації *in situ* полягає у введенні в забруднений ґрунт кисню за допомогою спеціального обладнання, з тим, щоб стимулювати ріст мікроорганізмів і аеробне біодеградацію поллютантів. Дана техніка найчастіше застосовується для очищення від різних нафтопродуктів.

Крім кисню стимуляція біодеградації може здійснюватися шляхом введення в ґрунт поживних речовин для стимуляції росту і метаболізму мікроорганізмів, що здійснюють деградацію поллютанта. Найчастіше для цих цілей використовують азот-і фосфорвмісні добрива.

Іншим поширеним підходом є введення в ґрунт мікроорганізмів (у тому числі генетично модифікованих) або ферментів для прискорення деградації органічних поллютантів, присутніх в ґрунті.

### **Біоремедіація *ex situ*.**

Біоремедіація *ex situ* заснована на знятті шару забрудненого ґрунту та очищенні його від поллютантів за межами місця забруднення, що робить цей підхід більш дорогим, ніж Біоремедіація *in situ*. Тим не менш, у технологій даного типу є ряд переваг: вони вимагають менше часу і забезпечують повний контроль процесу очищення.



Рис. 4.3 Біоремедіація *ex situ*

Перед приміщенням в біореактор з ґрунту видаляються великі камені, ґрунт піддається перемішуванню, що робить його більш однорідним; після додавання води утворюється глиниста суспензія. До цієї суспензії вносять мікроорганізми, для яких в реакторі створюються оптимальні умови і які проводять очистку ґрунту від поллютанта. Після завершення процесу очищення ґрунт висушується і повертається в навколишнє середовище.

Інший підхід біоремедіації *in situ* полягає в тому, що віддалений з місця забруднення ґрунт розміщується на певній території, забезпечують його аерацією, поживними речовинами і водою для стимуляції росту і метаболізму мікроорганізмів, що здійснюють біоремедіацію. У порівнянні з очищенням за допомогою біореакторів, дана технологія вимагає багато місця і займає довше часу. Можна виділити кілька різних варіантів такого підходу.

В одному з варіантів забруднений ґрунт видаляють з місця забруднення і розподіляють тонким шаром на площі, спеціально обгородженій по периметру для запобігання розповсюдження забруднення за її межами. Ґрунт орють для забезпечення доступу кисню ґрунтовим мікроорганізмам і додають стимулюючі для їх зростання речовини. Також над ґрунтом розпилюють воду, що дозволяє підтримувати оптимальну вологість і знижує запиленість повітря.

Забруднений ґрунт можна також складати товстим шаром висотою 1-3 м. При цьому аерація шляхом оранки замінюється аерацією за допомогою системи труб, що транспортують в ґрунт повітря для стимуляції біодеградації. В даному випадку ґрунт зазвичай змішують з якою-небудь рихлою речовиною (наприклад, соломою), щоб полегшити аерацію. У процесі ремедіації через продувки повітря відбувається випаровування з ґрунту різних речовин, у тому числі самого поллютанта, тому система обов'язково забезпечується датчиком складу ґрунтових випарів. Також в ґрунт додають добрива і підтримують на певному рівні вологість.

При змішуванні ґрунту з великою кількістю розпушувачів (сіна, кукурудзяних качанів, соломи) аерацію можна здійснювати за допомогою вакуумних насосів або вентиляторів. Таку суміш також можна аерувати шляхом перемішування у спеціальних резервуарах. Ще один варіант – розміщення забрудненого ґрунту з розпушувачем в довгі купи, регулярно перемішувати тракторами. У всіх цих трьох випадках співвідношення розпушувач/ґрунт становить приблизно 1/3. Після кожного перемішування ґрунт вкривається, що дозволяє підтримувати потрібну температуру і вологість. Очищення таким способом займає тижні замість звичайних для біоремедіації ґрунтів місяців.

### **Поліпшені методи біоремедіації**

Існує цілий ряд методів біоремедіації, що дозволяють проводити більш повне очищення ґрунту, причому як в умовах *in situ* так і *ex situ*.

Однією з таких перспективних технологій є застосування піни. Суміш піноутворюючої речовини разом з деградуючими бактеріями накачується стисненим повітрям на певній глибині ґрунту. Піна мобілізує забруднюючі речовини (зокрема рідкі вуглеводні) і підвищує їх біодоступність. За допомогою вакуумного насоса суміш піни, бактерій і деградуючого поллютанта

викачується з ґрунту. Поллютанти видаляються на подальшу деградацію, а очищена піноутворююча речовина знову використовується разом з мікроорганізмами для очищення.

Інша перспективна технологія біоремедіації ґрунту заснована на механізмі електролізу.

У ґрунт поміщають дві протилежно електрично заряджених конструкції (по суті, катод і анод). Відбувається електроліз ґрунтової води, утворюється водень і, стимулюючий метаболізм деструкторів, кисень. Крім стимуляції киснем, ріст і метаболізм мікроорганізмів стимулюється підвищенням температури, супроводжуваним електролізом. Водень і кисень, а також інші газоподібні речовини виділяють з ґрунту і потім збирають в танкер. Після змішування в танкері вони знову накачуються в ґрунт. Також в ґрунт постачається вода і лактат для забезпечення оптимальної вологості і рН.

*Заповнення рідким розчином Slurry-Trench Cutoff Walls Slurry – рідкий будівельний розчин*

Ці фізичні бар'єри складаються з вертикально викопаних траншей, заповнених рідким розчином. Рідкий розчин являє собою суміш ґрунту+бентоніту та води або цементу+бентоніту та води. Останні затримують важкі метали та деякі органічні сполуки. Такі фізичні бар'єри з рідких розчинів мають розміри 30 м у глибину та 0,6 – 1,2 м у ширину. Бентонітові глини (K, Na, Al) мають добру каталітичну активність, зв'язуючі і склеюючі властивості.

Спочатку вздовж викопування траншеї її заповнюють бентонітом для зміцнення стінок, а потім заповнюють траншею рідким розчином, який характеризується невисокою проникністю та хімічною резистивністю.

Переваги та недоліки

Ефективність таких бар'єрів може досягати 95 %.

Обмеження: деякі агресивні компоненти (кислоти, луги, сольові розчини, деякі органічні сполуки) можуть викликати руйнування бар'єрів.

Самі бар'єри деградують та руйнуються з часом.

Вартість методу становить 540 – 750 доларів США за квадратний метр.

Цементна завіса (Grout curtains) – затверділа матриця, заповнена цементним розчином (grout), яку занурюється у ґрунт під тиском.

Втричі дорожче, ніж фізичні бар'єри.

*Листова укладка Sheet piling*

Листова укладка складається з великих металевих листів, що занурюються у ґрунт. Ці листи мають практично нульову проникність та низьку реактивність. Однак, вони можуть мати просвіти між окремими листами; крім того, вони характеризуються більшою вартістю порівняно з фізичними бар'єрами та складністю їх встановлення. Зазвичай, листову укладку використовують для невеликих ареалів.

*Пасивні та реактивні бар'єри Passive/Reactive Treatment Walls*

Проникна реактивна стінка встановлюється поперек потоку забруднювача. Вода проходить через таку стінку, тоді як забруднювач



затримується. Як матеріал для такого бар'єра застосовують залізо нульової валентності або інші сорбенти.

До основних забруднювачів слід віднести хлоровмісні розчинники, органічні сполуки, метали, радіонукліди. У США працюють близько 125 таких бар'єрів.

*Typical Passive Treatment Wall (Cross-Section)* Пасивні та реактивні бар'єри. Як приклад можна навести використання гранул заліза, що взаємодіє з трихлороетаном, дихлороетаном, вінілхлоридом. Коли залізо окислюється, атом хлору віддаляється від сполуки через один з механізмів дехлорування, використовуючи електрон, який завдяки окисненню заліза. Хоча гранули заліза розчиняються, цей процес довготривалий.

Обмеженість методу: стінки пасивної дії втрачають з часом свої реактивні властивості та вимагають заміни. Проникність бар'єрів зменшується завдяки осадженню солей металів. Вартість 1,3 – 2,5 \$ за м<sup>3</sup>.

Воронка з фільтром *Funnel and Gate*

Забруднювачі направляють за допомогою воронки в отвір, який містить реактивний матеріал. Метод дозволяє забезпечити економію реактивних середовищ та легку їх заміну

*Гідравлічні бар'єри*

Принцип дії гідравлічного бар'єра полягає у маніпулюванні водним тиском, який утворюється внаслідок додавання або вилучання води.

Ключовим моментом цієї технології є можливість окреслити та зафіксувати зону забруднення з метою її захоплення, що здійснюється за допомогою системи траншей або колодязів. У такій дренажній системі забруднена вода збирається та відкачується. Можливо застосування колодязів, в яких утворюється підвищений тиск, з метою обмеження поширення забруднених вод. Глибина гідравлічних бар'єрів досягає 50 м, а периметр може простягатися до кількох кілометрів.

Гідравлічні бар'єри зазнали більшого поширення порівняно з фізичними, не зважаючи на вищу вартість та довготривалість процесу установа бар'єрів та необхідність зберігання, обробки та розміщення великої кількості забрудненої води, яка викачується на поверхню.

*Твердіння* – це процес, під час якого зв'язувальний агент змішується з забрудненим середовищем з тим, щоб створити твердий продукт. Ця технологія передбачає такі різновиди:

*Стабілізація* – затвердіння небезпечних компонентів, які перетворюються у хімічно стабільніші форми з обмеженою розчинністю;

*Імобілізація* – позбавлення забруднень можливості мігрувати у просторі (наприклад, перетворення шестивалентного хрому, який розчинюється у воді, у тривалентний хром, що не розчинюється у воді та осідає на середовищі).

*Інкапсулювання* – створення захисної оболонки навколо забруднювачів з цементу або полімерів;

*Вітрифікація* – нагрівання матриці із забруднювачем до високої (1600-20000 °С) температури, що викликає розплавлення пористого середовища

(наприклад, кремнієвих компонентів), що призводить до створення склоподібної непроникної оболонки. Метод застосовують для руйнування та вилучення органічних матеріалів, а також для утримання важких металів та радіонуклідів. Недолік методу – недостатня ефективність, довготривалість.

#### *Розкопування (Excavation)*

Переваги: дуже простий, широко поширений Недоліки: цей метод передбачає контакт робітників з забрудненим ґрунтом; він є дорогим, оскільки вимагає подальшої обробки ґрунту; він може застосовуватися для невеликих ареалів забруднення.

Небезпека: дуже прикро, але близько 400 робітників гинуть щорічно та тисячі отримують поранення у країнах світу через інциденти з викопуванням ґрунту. Не слід забувати, що густина сухого ґрунту становить близько  $1300 \text{ кг/м}^3$ ; отже  $1 \text{ м}^3$  важить  $1350 \text{ кг}$ !

#### *Накачування та обробка (Pump and Treat)*

Найбільш поширеним є метод накачування та обробка забруднених ґрунтових вод.

Забруднена вода відкачується для подальшої обробки, тоді як замість неї у забруднену зону накачується чиста вода.

Переваги: цей метод дозволяє швидко зменшити високі концентрації забруднювачів.

Недоліки: метод не завжди ефективний; рівень віддалення забруднювачів залежить від хімічної природи забруднювачів та геології простору.

Серйозну проблему являє наявність у ґрунтових водах рідин неводної фази (Non-Aqueous Phase Liquids або NAPL), густина яких перевищує густину води та які не змішуються та не розчинюються у воді.

Забруднення, що знаходяться у вадозній (ненасиченій) зоні непідлягають відкачуванню; після припинення відкачування води мігрують у водоносний шар. Вартість методу відкачування та обробки становить  $50,000 - 5$  мільйонів доларів США, хоча в екстремальних випадках витрати можуть бути більшими.

#### *Прискорена промивка*

Вилучення забруднювачів ускладнюється, якщо останні характеризуються низькою розчинністю та високим рівнем сорбції.

Щоб запобігти впливу цих факторів, запропоновано ввести у ґрунт спеціальні розчини (Поверхнево-активні речовини або сурфактанти), які містять молекули детергентів.

Сурфактанти характеризуються малим значенням коефіцієнту поверхневого натягу, через що вони зменшують взаємодію рідин на границі поверхонь. Окремі молекули забруднювачів покриваються молекулами сурфактантів (розмірами  $5-10 \text{ нм}$ ) та «розчинюються» в межах цього покриття.

Застосування прискореної ремедіації за допомогою сурфактантів дозволяє полегшити процес відкачування завдяки збільшенню рухливості та розчинності забруднювачів, прикріплених до ґрунтової матриці.

Ґрунтова парова екстракція (ГПЕ) – це *in situ* технологія ремедіації ненасиченої (вадозної) зони ґрунту, в основі якої лежить застосування вакууму

до ґрунту з тим, щоб стимулювати контрольований потік повітря та вивести леткі та напівлеткі забруднювачі з ґрунту. Глибина занурювання свердловин становить від 1,5 до 90 м.

Газ, що покидає ґрунт, підлягає обробці – його пропускають через гранульований активований вуглець. Крім того, потік повітря може стимулювати біодеградацію тих органічних забруднювачів, які у меншій мірі леткі. На відміну від методу накачування та обробки, який передбачає застосування повітря; оскільки в'язкість повітря менша, ніж води, такий метод вимагає менше енергії і є менш коштовним.

Переваги методу ГПЕ: нескладне обладнання, яке легко устанавлюється; мінімальне турбування ґрунту; короткотривалість процесу (від 1-30 днів до 0,5-2 років); невисока вартість (20-50 доларів США за тону забрудненого ґрунту).

Недоліки методу ГПЕ:

Може бути застосований лише до ненасиченої (вадозної) зони;

Втім, застосування вакууму може призвести до засмокування ґрунтової води, через що вона може бути забруднена; метод не віддаляє важкі нафтопродукти, метали, діоксани, поліхлорбіфеніли; важко досягнути ефективності методу більшої, ніж 90%; можливі викиди забруднювачів в атмосферу.

*Розпилення повітря (Air Sparging)*

Цей метод передбачає підвищення швидкості вилучення забруднювачів за рахунок інжекції повітря у забруднену зону з метою перенесення маси летких та напівлетких забруднювачів від ґрунтових вод до повітряних пухирців, які завжди прагнуть рухатися догори, де їх уловлюють. Забруднена ґрунтова вода відкачується біореактором або іншим засобом, де вона очищується фільтрацією, активованим вуглецем або згорянням. У воду додають поживні речовини або кисень для прискорення біодеградації забруднювачів, але якщо їх концентрація незначна.

Переваги методу: нескладне обладнання, що легко встановлюється; неруйнівність методу; невисока вартість (20-50 доларів США за тону насиченого ґрунту).

Недоліки методу: наявність численних каналів, якими повітря прямує до поверхні та які не завжди перетинають забруднену зону; наявність зон з низькою проникністю, на яких диспергують забруднювачі у просторі; недостача лабораторних та експериментальних даних для повного розуміння процесів, що відбуваються під час розпилення повітря.

*Теплові методи*

В основі теплових методів лежить нагрівання забрудненого ґрунту або ґрунтових вод, що призводить до руйнування летких органічних сполук, а також густих та легких рідин неводної фази.

З метою інтенсифікації десорбції (фізичного відділення від ґрунту), звітрювання (утворення летких речовин) та випаровування забруднювачів використовують нагрівання забрудненої зони або нагрітою водою, повітрям,

парою, або електричним чи радіочастотним способом, або за рахунок теплопровідності.

#### *Нагрівання повітрям чи парою*

Інжекція нагрітого повітря або пари забезпечує випаровування летких органічних сполук, присутніх в залишках нафтопродуктів.

До глибоко розташованих шарів ґрунту нагріте повітря постачається за допомогою високого тиску. Пара сприяє зменшенню в'язкості рідин, утворенню газової фази та збільшенню рухливості рідин неводної фази.

На глибині 40 м під тиском близько 7 атмосфер температура ґрунту досягає 164 °С.

#### *Нагрівання електричним струмом*

Електричний спосіб передбачає використання теплоти, що виділяється у провіднику у процесі проходження ним електричного струму. Нагрівання забезпечується електродами, що занурюються у ґрунт навколо центрального електрода. Температура ґрунту при цьому підвищується до 100-150 °С. Слід зазначити, що такий спосіб забезпечує швидку (менш, ніж 40 днів) ремедіацію ґрунту, хоча вимагає витрат на енергію, через що є більш коштовним.

#### *Нагрівання радіочастотним полем*

Радіочастотне нагрівання забезпечується вертикально розташованими електродами, що оточують забруднену зону та утворюють конденсатор. Прикладання напруги до електродів викликає нагрівання до 300 °С.

#### *Метод теплопровідності*

Метод теплопровідності забезпечує нагрівання глибоких шарів ґрунту за допомогою колодязів, а неглибоких – завдяки поверхневому покриву. Внаслідок нагрівання виділяються продукти випаровування, які відкачуються до системи обробки.

#### *Переваги:*

- метод може бути застосований для будь-яких ґрунтів;
- можливість проводити ремедіацію під будівлями;
- після закінчення процесу нагрівання, ґрунт залишається нагрітим довгий час (місяці або роки), що сприяє біоремедіації.

#### *Недоліки:*

- можливість обробляти невеликі за розмірами ділянки;
- ділянки невеликої глибини, але великої площі характеризуються втратами енергії;
- нафтопродукти та мастила утруднюють процес ремедіації;
- наявність металевих конструкцій в зоні обробки спотворює шляхи проходження зони електричним струмом.

#### *Електрокінетичний метод*

Електрокінетичний метод являє собою техніку, в основі якої лежить використання електричного струму для віддалення органічних, неорганічних забруднювачів та важких металів з ґрунту, до якого прикладений електричний потенціал. Метод характеризується мінімальною руйнівною дією на ґрунт. В основі методу лежить збільшення рухливості забруднювачів за рахунок

прикладання електричних полів: у забруднену зону занурюються металеві електроди, до яких прикладена напруга 50-150 В.

*Електроосмос* – це рух води (вологи) у ґрунті під впливом прикладеного електричного поля.

*Електрофорез* – це рух твердих частинок або краплин, завислих в електроліті, під впливом прикладеного електричного поля.

*Електроміграція* – це перенесення іонів або інших комплексів до електроду протилежного заряду.

Кожний електрод занурюється у циліндричний резервуар з електролітом, який служить провідною рідиною, для виведення забруднювачів та введення хімікатів та біологічних агентів.

Метод електрокінетичної ремедіації дає можливість вилучати з ґрунту такі забруднювачі як важкі метали, радіоізотопи ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{60}\text{Co}$ , уран), токсичні аніони (нітрати та сульфати), рідини неводної фази, ціаніди, вуглеводні нафтопродуктів (дизельне паливо, бензин, керосин), вибухові матеріали.

Конкретний прилад для електрокінетичної ремедіації ґрунту складається з боксу, що містить три відділення (6x5x10 см), розділених напівпровідними мембранами. У середньому відсіку розміщують ґрунт; у два інших відсіки занурюють електроди

*Lasagna TM* – технологія застосовується для вилучення важких металів з однорідних ґрунтів низької проникності.

Переваги:

- характеризується високою ефективністю;
- вилученню підлягають багато різних забруднювачів;
- можливість обробляти ґрунти з низькою проникністю (глину);
- можливість застосування як в насиченій, так і в ненасиченій зонах;
- невисока собівартість

Недоліки:

- залежність ефективності методу від вологості ґрунту: максимальна ефективність відповідає діапазону вологості 14-18%; якщо вологість стає меншою ніж 10%, ефективність методу різко спадає;

- вплив металевих та провідних матеріалів в ґрунті на процес ремедіації;

- необхідність застосування інертних електродів (вуглець, графіт, платина);

- залежність розчинності забруднювачів та ефективності процесу ремедіації від рН середовища (низькі значення рН сприяють збільшенню ефективності ремедіації);

- необхідність застосування розчинів, що прискорюють процес.

Електрокінетичні методи застосовуються для очищення ґрунту від важких металів, радіонуклідів, нітратів та сульфатів, залишків нафтопродуктів.

Ці методи успішно використовуються для очищення ґрунтів з високим рівнем вологості, глини; характеризуються невисокою собівартістю.

*Заорювання* (Land Farming) – це процес біоремедіації, що реалізується у верхньому шарі ґрунту. Забруднений ґрунт, седименти або бруд вносяться у ґрунт, після чого верхній шар періодично перевертають з метою аерації або обробляють.

Метод успішно застосовується для ремедіації ґрунтів з залишками нафтопродуктів, вуглеводнів та пестицидів. Заорювання ґрунту сприяє прискоренню мікробної деградації небезпечних компонентів.

Переваги: простота, не потребує складного обладнання.

Недоліки: потребує великих площ; процеси, що відбуваються у ґрунті, не завжди контрольовані; довготривалість процесу ремедіації; неорганічні сполуки не підлягають біодеградації; іони металів можуть бути токсичними для мікроорганізмів.

#### *Компостування*

Компостування являє собою *ex situ* технологію ремедіації. Компост – це залишки органічних речовин рослинного та тваринного походження. Компост (або гумус) є продуктом розкладання органічної речовини. Компост покращує структуру ґрунту, збільшує кількість органічної речовини та забезпечує постачання поживних речовин.

Компостування є контрольоване розкладання органічної речовини. Щоб сприяти активності мікрофлори, купа компосту мусить містити такі інгредієнти як вуглець, азот, кисень, вода.

Найбільш активну участь у розкладанні беруть бактерії, гриби, цвілеві гриби та актиноміцети – бактерії, що мають подібну до грибів міцеліальну будову, черв'яки, мурашки, равлики, слимаки тощо.

Максимальне розкладання забезпечується за співвідношенням вуглець: азот (C:N) = від 25:1 до 30:1. Наприклад, для зрізаної трави C:N = 19:1, тоді як для осіннього листя C:N = 55:1; отже, перемішуючи ці два середовища, можна отримати оптимальне співвідношення C:N.

Солома, осінні листя містять багато вуглецю; гній після трав'янистих тварин, залишки фруктів та овочів забезпечують азот. Кінський гній дає вуглець та азот разом.

#### *Біокупа* (Biopiles)

Ця техніка передбачає збирання забрудненого ґрунту у купу та стимулювання активності мікроорганізмів через аерацію або додавання поживних речовин, солей, вологи. На відміну від заорювання та компостування, де процеси аерації забезпечуються завдяки природному повітрю, біскупи використовують вимушені потоки повітря яке постачається або екстрагується через труби.

Переваги:

- застосовується для зменшення концентрації майже всіх компонентів нафтопродуктів.
- відносна простота обладнання та процедури обробки;
- короткочасна дія – від 6 місяців до 2 років;

- невисока собівартість: 30-90 доларів США за тону забрудненого ґрунту;
- ефективна дія на органічні компоненти з повільною швидкістю біодеградації;
- потребує менші площі, ніж заорювання;
- може бути сконструйована як замкнута система з контрольованою емісією газів.

Недоліки:

- важко досягнути ефективності  $> 95\%$  та зменшення концентрацій  $< 0.1$  ppm;
- метод неефективний, якщо концентрації нафтових вуглеводнів перевищують 50,000 ppm;
- наявність високих ( $> 2,500$  ppm) концентрацій важких металів викликає пригнічення росту мікрофлори;

Леткі компоненти прагнуть до випаровування раніше, ніж їх оброблять.

Всі методи біоремедіації привернули серйозну увагу упродовж останнього часу. Ефективність цих методів підтверджена реальними тестуваннями (наприклад, очищення від нафтопродуктів). Приваблює невисока собівартість технології. Втім, слід зазначити складність та непередбаченість біологічних систем, що застосовуються під час біоремедіації. Біоремедіація рідко відновлює середовище до його первинного стану. Залишки забруднювачів сорбуються ґрунтом та через тривалий проміжок часу повільно звільнюються, створюючи додаткові проблеми.

## **Лабораторна робота 25**

### **Визначення фітотоксичності важких металів на прикладі насіння зернових культур**

Важкими металами вважають метали з густиною понад 5 г/см. Ці сполуки надходять у рослини з ґрунтовим розчином. У незначних кількостях (як мікроелементи) вони необхідні рослинам, оскільки входять до складу біологічно активних речовин – ферментів, вітамінів, тощо, забезпечуючи нормальне функціонування рослин. Так, зокрема молібден необхідний для азотфіксуючих бульбочкових бактерій, розміщених на коренях бобових культур. Значні концентрації важких металів негативно впливають на ріст і розвиток рослин, змінюючи навіть їхній зовнішній вигляд (розміри і форму стебла, листків, квітів, колір листків і квітів), що використовують у пошуках родовищ корисних копалин. Через трофічний ланцюг важкі метали ґрунту потрапляють у рослини, а потім споживаються тваринами і людиною.

**Мета роботи:** визначення важких металів на прикладі насіння зернових культур.

За ступенем можливого негативного впливу важких металів-забруднювачів на ґрунт, рослини, тварини та людину їх поділяють на три класи: високонебезпечні, небезпечні та малонебезпечні речовини (табл. 4.4).

Таблиця 4.4

**Поділ на класи основних речовин, що називаються важкими металами**

Класи небезпечності	Характеристика	Речовини (важкі метали)
I клас	Високонебезпечні	Арсен, кадмій, ртуть, селен, свинець, кобальт, цинк, фтор
II клас	Небезпечні	Бор, кобальт, нікель, молібден, хром
III клас	Малонебезпечні	Барій, ванадій, манган, стронцій

Підвищений вміст важких металів у ґрунті є наслідком застосування у сільськогосподарському виробництві меліорантів, добрив та пестицидів, а також використання для зрошення забруднених побутових і промислових стічних вод. Локальне забруднення сільськогосподарських угідь важкими металами можуть спричинити транспортні засоби. Вздовж полів забруднення зазнає придорожня смуга на відстані до 200 м із переважанням свинцю, що міститься в антидетонаційних присадках до бензину. Максимальне забруднення ґрунтів спостерігається на відстані 7-10 м від дороги, а в зоні 30-80 м відмічається зниження врожайності та погіршення якості сільськогосподарської продукції. Істотним недоліком мінеральних добрив є наявність баластних речовин (токсичних елементів і сполук) (табл. 4.5).

Таблиця 4.5

**Вміст важких металів у складі мінеральних добрив, г/т діючої речовини (А.Є.Басманов, А.В. Кузнецов, 1990)**

Добрива	Мідь (Cu)	Цинк (Zn)	Кадмій (Cd)	Свинець (Pb)	Нікель (Ni)	Хром (Cr)
Азотні	51	63	1,23	21	6,83	0,38
Фосфорні	127	164	3,0	34	92	121
Калійні	9,4	20	1,05	28	9,1	0,89
Всі мінеральні добрива	59	77	1,62	26	30	33

Таблиця 4.6

**Фонові та граничнодопустимі концентрації важких металів у ґрунті**

Назва речовини	Фонова концентрація у ґрунті, мг/кг	Гранично допустима концентрація у ґрунті, мг/кг
Кадмій (Cd)	0,5	3,0
Свинець (Pb)	10	32
Цинк (Zn)	50	100
Мідь (Cu)	20	55
Хром (Cr)	75	100
Нікель (Ni)	40	85
Кобальт (Co)	8	50
Фтор (F)	200	330

Важкі метали забруднюють не лише ґрунти. Близько 40% важких металів та їх похідних потрапляє із ґрунту у підґрунтові води, що збіднює видовий склад



рослин, знижує темпи їх росту та розвитку, різко зменшується схожість насіння культурних та дикорослих видів, також гине трав'яний покрив і лісові

Таблиця 4.7

### Усереднені коефіцієнти стійкості ґрунтів щодо важких металів

Коефіцієнт стійкості (кЛ, безрозмірна величина)							
Ґрунтово-кліматична зона	Свинець (Pb)	Кадмій (Cd)	Фтор (F)	Цинк (Zn)	Мідь (Cu)	Нікель (Ni)	Кобальт (Co)
Полісся	0,32	0,16	0,83	0,34	0,12	0,35	0,11
Лісостеп	0,71	0,53	0,42	0,74	0,56	0,68	0,50
Степ	0,73	0,60	0,25	0,78	0,68	0,76	0,52

На думку О. Виноградова, мікроелементи містяться в деревині у вигляді "повітряних мігрантів" (98,8%) - 70% O, 18% C, 10,5% H, 0,3% г>Г; "водних мігрантів" (1,2%) - Ca, K, Mo, P, F, N3, Cl, Fe (разом узяті). Мікроелементи (36 "водних мігрантів") становлять соті частки відсотка деревини.

**Матеріали і реактиви:** чашки Петрі для пророщування насіння; фільтрувальний папір; насіння кукурудзи; розчини солей важких металів: нітрати кадмію, плумбуму, мангану концентраціями 1,25 і 2,5 мкмоль/л.

#### Хід роботи

Насіння кукурудзи проростити і помістити для подальшого росту у розчинах солей важких металів, заздалегідь вимірявши довжину корінців і стебел та пронумерувавши чашки Петрі. Контрольні рослини вирощувати на дистильованій (або водопровідній) воді. Через тиждень вимірювання повторити, а отримані результати занотувати у таблицю:

Таблиця 4.8

### Характеристика насіння кукурудзи, обробленого розчинами важких металів

Характеристика рослин	Контроль	Концентрація розчинів, мкмоль/л					
		Pb(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>		Cd(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>		Mn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	
		1,25	2,5	1,25	2,5	1,25	2,5
Довжина корінців							
Довжина стебел							

На основі отриманих даних графічно зображають криві росту корінців і стебел кукурудзи у розчинах солей різних важких металів залежно від їх концентрації. Чи існують відмінності у рості рослин за різного якісного складу металів?

#### Лабораторна робота 26

##### Вимір абіотичних параметрів навколишнього середовища.

##### визначення рівня освітленості у виробничих приміщеннях

**Освітленість** (Е, Лк) – відношення світлового потоку, що падає на елемент поверхні, до площі цього елемента.

*Мінімальна освітленість* ( $E_{\text{мін}}$ , Лк) – найменше значення освітленості в приміщенні, на освітлюваній ділянці, у робочій зоні.

*Середня освітленість* ( $E_{\text{ср}}$ , Лк) – освітленість, усереднена по площі освітлюваних приміщень, ділянки, робочої зони.

*Коефіцієнт природної освітленості* (КПО) (e, %) – відношення природної освітленості, створюваної в деякій крапці заданої площини усередині приміщення світлом неба (безпосереднім або після відбиття), до одночасного значення зовнішньої горизонтальної освітленості, створюваної світлом повністю відкритого небозводу.

**Мета роботи:** визначення рівню освітленості у виробничих приміщеннях.

**Матеріали та обладнання:** для виміру освітленості варто використовувати люксметри з вимірювальними перетворювачами випромінювання, що мають спектральну погрішність не більше 10%. Люксметри повинні мати посвідчення про метрологічну атестацію й перевірку. Атестація люксметрів проводиться відповідно до ДЕРЖСТАНДАРТУ – 8.326, перевірка – відповідно до ДЕРЖСТАНДАРТУ 8.014 і ДЕРЖСТАНДАРТУ 8.023.

#### Підготовка до вимірів

Перед виміром освітленості від штучного освітлення варто провести заміну всіх перегорілих ламп і чищення світильників. Вимір освітленості може також вироблятися без попередньої підготовки освітлювальної установки, що повинне бути зафіксоване при оформленні результатів виміру.

Вимір КПО проводять у приміщеннях, вільних від меблів і устаткування, не затінених озелененням і деревами, при вимитих вікнах. Вимір КПО може також вироблятися при наявності меблів, затіненні деревами й несправних або невимитих вікнах, що повинне бути зафіксоване при оформленні результатів вимірів.

Для виміру КПО в районах, розташованих південніше  $48^\circ$  с.ш., вимір КПО допускається проводити без обліку бальності в дні суцільної хмарності, що покриває усе небо. Електричне світло в приміщеннях на період вимірів вимикається. Перед вимірами вибирають і наносять контрольні точки для виміру освітленості на план приміщення, споруд або освітлюваної ділянки із вказівкою розміщення світильників.

Розміщення контрольних точок при вимірі середньої освітленості приміщень.

Для визначення контрольних точок план приміщення розбивають на рівні, по можливості квадратні, частини. Контрольні точки розміщують у центрі кожного квадрата (рис.1). Мінімальне число контрольних крапок для виміру визначають виходячи з розмірів приміщення й висоти підвісу світильників над робочою поверхнею. Для цього розраховують індекс приміщення по формулі:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)},$$

де А – ширина приміщення, м; В - довжина приміщення, м; h – висота підвісу світильника, м.

Мінімальна кількість контрольних точок N для виміру середньої освітленості квадратного приміщення визначають по таблиці 1. При розміщенні контрольних точок на плані приміщення їхня сітка не повинна збігатися із сіткою розміщення світильників. У випадку збігу сіток кількість контрольних точок на плані приміщення доцільно збільшити. При розташуванні в приміщенні габаритного устаткування контрольні точки не повинні розташовуватися на обладнанні. Якщо контрольні точки попадають на обладнання, сітку контрольних точок варто зробити більш частої й виключити точки, що попадають на обладнання.

Таблиця 4.9

Індекс приміщення $i'$	Число точок виміру, N
Менш 1	4
Від 1 до 2 включ.	9
Понад 2 до 3 включ.	16
Понад 3	25

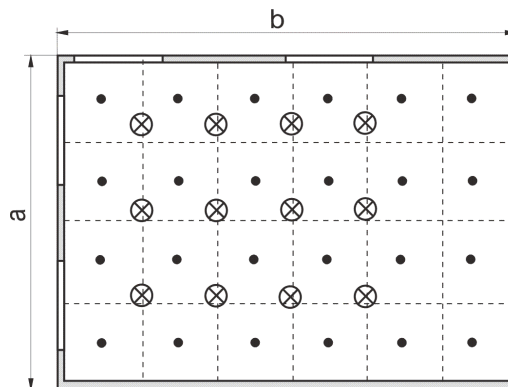


Рис. 4.4 Розташування контрольних точок при вимірі середньої освітленості в приміщенні

#### Вимір коефіцієнта природної освітленості

При визначенні коефіцієнта природної освітленості проводять одночасні виміри освітленості в контрольних точках усередині приміщень  $E_{вн}$  і зовнішньої освітленості  $E_{зовн}$  на горизонтальному майданчику, освітлюваній всім світлом небозводу (наприклад, зовні на покрівлі будинку або на іншому піднесеному місці). Коефіцієнт природної освітленості  $e$ , %, визначають по формулі:

$$e = \frac{E_{\text{вн}}}{E_{\text{зовн}}} \cdot 100 \quad (1)$$

де  $E_{\text{вн}}$  – значення природної освітленості усередині приміщення, Лк;  
 $E_{\text{зовн}}$  – значення природної освітленості поза приміщенням, Лк.

Згідно СНіП 11-4-79 у класних кімнатах, аудиторіях, навчальних кабінетах, лабораторіях освітленість робочих поверхонь на середині рівня дошки повинна бути не менш 300 Лк, на робочих столах не менш як 500 Лк. Нормовані значення коефіцієнта природного освітлення (КПО  $e_n$ ) для будинків, розташовуваних в I, II, IV і V поясах світлового клімату визначається по формулі:

$$e_n^{I,II,IV,V} = e_n^{III} \cdot m \cdot C, \quad (2)$$

де  $e_n^{III}$  – значення КПО (для Київської області коефіцієнт відповідає 1,5 %);  $m$  – коефіцієнт світлового клімату (для Київської області, що перебуває в IV поясі  $m = 0,9$ );  $C$  – коефіцієнт сонячності клімату (для Київської області  $C = 0,7$ ). Значення, які отримані по формулі (2) варто округляти до десятих часток.

#### **Хід роботи:**

1. Визначити індекс приміщення й кількість контрольних точок для проведення вимірів середньої освітленості в приміщенні.
2. За допомогою люксметра Ю-117 визначити коефіцієнт природної освітленості в приміщенні.
3. Отримані дані порівняти з нормованим стандартом. Зробити відповідний висновок.
4. Визначити освітленість горизонтальної поверхні робочого місця на різній відстані від вікна.
5. За отриманими даними побудувати графік залежності рівня освітленості –  $E$ , Лк (вісь ординат) від відстані до джерела світла –  $L$ , м (вісь абсцис). Визначити характер взаємозв'язку.

### **Лабораторна робота 27**

#### **Визначення актуальної кислотності ґрунтів**

Визначення реакції ґрунтів належить до найпоширеніших аналізів як у теоретичних, так і в прикладних дослідженнях. Найбільш повна картина кислотних і основних властивостей ґрунтів складається при одночасному вимірі декількох показників, у тому числі титруючої кислотності або лужності – фактор ємності й величини рН – фактор інтенсивності.

Фактор ємності в цьому випадку характеризує загальний вміст кислот або основ у ґрунтах, від нього залежать буферність ґрунтів, стійкість реакції у часі й стосовно зовнішніх впливів.

Фактор інтенсивності характеризує силу миттєвої дії кислот або основна ґрунті і рослині: від нього залежить надходження мінеральних речовин у рослини в даний відрізок часу. Це дозволяє дати найбільш правильну оцінку кислотності ґрунтів, тому що в цьому випадку враховується загальна кількість іонів водню й алюмінію, що перебувають у ґрунті у вільному й поглиненому станах. Ця форма кислотності обумовлена вмістом вільних іонів водню в ґрунтовому розчині й вимірюється за показником рН водної витяжки із ґрунту. Цей вид кислотності безпосередньо діє на кореневу систему рослин і на ґрунтові мікроорганізми.

Визначення актуальної кислотності ґрунту необхідно для з'ясування можливості впливу на ґрунт різних форм, доз і сполук добрив, а також підбора культур у сівозмінах. Однак рН водної витяжки – показник нестійкий, що часто змінюється під дією різних факторів протягом навіть одного вегетаційного періоду.

**Мета роботи:** визначення актуальної кислотності ґрунтів.

**Матеріали та обладнання:** рН-метр або іонометр, мірний циліндр, колби, піпетки, дистильована вода, зразки ґрунту.

#### **Хід роботи:**

На технічних вагах взяти наважку ґрунту масою 20 г і помістити в колбу на 200 - 250 см<sup>3</sup>. Долити циліндром 50 см<sup>3</sup> дистильованої води. Збовтувати на ротаторі протягом 1 год. У суспензії або фільтраті визначити значення рН електрометричним методом.

Сутність методу полягає у вилученні обмінних катіонів із ґрунту розчином хлористого калію (концентрація 1 моль/дм<sup>3</sup>) при співвідношенні ґрунту й розчину 1 до 2,5 і потенціометричному визначенні рН із використанням скляного електроду. При визначенні рН у пробах органічних горизонтів ґрунтів витяжку готують при співвідношенні ґрунту й розчину 1:25.

**Приготування витяжки.** Пробу ґрунту (у повітряно-сухому стані, пропущеної через сито з діаметром отворів 1 - 2 мм) масою 30 г зважити на технічних вагах з погрішністю не більше 0,1 г і пересипають у конічну колбу. До проб дозатором або циліндром долити 75 см<sup>3</sup> екстрагованого розчину. Одночасно провести холостий дослід без проби ґрунту. Ґрунт з розчином перемішувати протягом 1 хв. При визначенні рН у пробах органічних горизонтів ґрунтів відібрати наважку масою 4 г, додати до неї 100 см<sup>3</sup> екстрагованого розчину й перемішати суспензію протягом 3 хв. Після проведення налаштування рН-метра або іонометра по трьох буферних розчинах із рН 4,01; 6,86; 9,18 електроди занурюють у суспензію й вимірюють величину рН. Показання приладу знімати не раніше, ніж за 1 хв після занурення електродів у суспензію. Під час роботи налаштування приладу періодично перевіряють по буферному розчину із рН 4,01. Після виміру рН суспензію залишити на 18 - 24 год, потім перемішати на електромеханічній мішалці протягом 1 хв і фільтрувати через паперові фільтри. Першу мутну порцію

фільтрату об'ємом 10-15 см<sup>3</sup> відкинути. Допускається замість настоювання проб ґрунтів з розчином хлористого калію проводити перемішування суспензій на качалці або ротаторі протягом 1 год. Фільтрати використовуються для наступного аналізу (визначення обмінної кислотності, обмінного алюмінію, а також нітратів, обмінного амонію, рухливої сірки, обмінного марганцю, обмінного кальцію й обмінного (рухливого) магнію. За результат аналізу прийняти значення одиничного визначення рН зі шкали приладу з точністю не нижче 0,1 одиниці рН.

## Лабораторна робота 28

### Виділення мікроорганізмів з ґрунту. вплив антропогенних факторів на мікрофлору ґрунту

**Мета роботи:** Визначення кількості мікроорганізмів у пробах ґрунту та ознайомлення з впливом антропогенних факторів на його мікрофлору.

**Матеріали та обладнання:** стерильні чашки Петрі, колби з 99 мл стерильної водопровідної води, пробірки з 9 мл стерильної води, стерильні піпетки на 1 мл, МПА, СА, ваги, різноважки, папір для зважування, шпателі, ґрунт, предметні скельця, три банки, глюкоза, CuSO<sub>4</sub> або ZnSO<sub>4</sub>, фуксин, мікроскоп.

#### 1. Виділення мікроорганізмів з ґрунту

Одним із найсприятливіших середовищ для існування мікроорганізмів є ґрунт. Кількісний і якісний склад мікрофлори ґрунтів залежить від їх хімічного складу, фізичних властивостей, вмісту вологи й повітря, кліматичних умов, пори року, характеру рослинного покриву, антропогенного впливу та багатьох інших факторів. До складу мікрофлори ґрунту входять амоніфікуючі, нітрифікуючі, денітрифікуючі, азот фіксуючі, целюлозолітичні, сірко- та залізобактерії, актиноміцети, гриби тощо. У верхніх шарах ґрунту також можуть міститись збудники правцю, газової гангрени, кишкових інфекцій, наприклад, дизентерії, колієнтериту, черевного тифу, холери та ін. Ґрунт є головним джерелом надходження мікроорганізмів у інші середовища, зокрема у повітря та воду.

Для вивчення та обліку мікрофлори ґрунту найчастіше проводять поверхневий висів (газоном) ґрунтової суспензії на щільні поживні середовища. При правильному виборі середовищ є можливість дослідити різні групи мікроорганізмів, що заселяють ґрунт (бактерії, актиноміцети, гриби та дріжджі), оцінити кількісний та якісний склад мікрофлори та провести виділення чистих культур (при необхідності). *Чисті культури* – це популяція мікроорганізмів одного виду. *Накопичувальні* ж культури містять тільки переважно клітини одного виду.

Сутність методу висіву полягає в нанесенні ґрунтової суспензії на поверхню поживних середовищ. Клітини, які потрапили в оптимальні умови для росту, утворюють на поверхні середовища колонії, які видимі неозброєним оком. При проведенні кількісного обліку, як правило, вважають, що кожна колонія утворюється в результаті поділу однієї клітини. Для характеристики мікрофлори ґрунту найбільш широко вживаними є такі середовища:

1. Середовище Чапека – для виділення грибів та актиноміцетів;
2. Середовище Ешбі – для виділення олігонітрофільних бактерій та деяких дріжджів;
3. Крохмально-аміачне середовище – для виділення актиноміцетів і бактерій;
4. МПА та розведений МПА – для виділення бактерій;
5. Агаризоване сушло або синтетичні середовища (Сабуро, глюкозо-амонійне) – для виділення дріжджів;
6. Картопляний агар (КА) – для виділення фітопатогенних бактерій;
7. Голодний агар;
8. Грунтовий агар Локхіда тощо.

Вивчення фізіолого-біохімічних властивостей бактерій, а також визначення видової приналежності необхідно проводити на чистих культурах мікроорганізмів. Виділення чистих культур мікроорганізмів – основа мікробіологічної практики.

*Метод штриха, що виснажується* є найбільш вживаним для одержання чистих культур мікроорганізмів. Сутність цього методу полягає у тому, що досліджуваний матеріал розподіляють штрихами на поверхні поживного середовища в чашці Петрі. З кожним наступним штрихом матеріал, який знаходиться на петлі, поступово виснажується, зменшується кількість висіяних клітин, і, в кінцевому рахунку, можна отримати ізольовані колонії. Посівний матеріал можна наносити на поверхню середовища зигзагом, сіткою або Т-подібним штрихом (рис. 4.5).

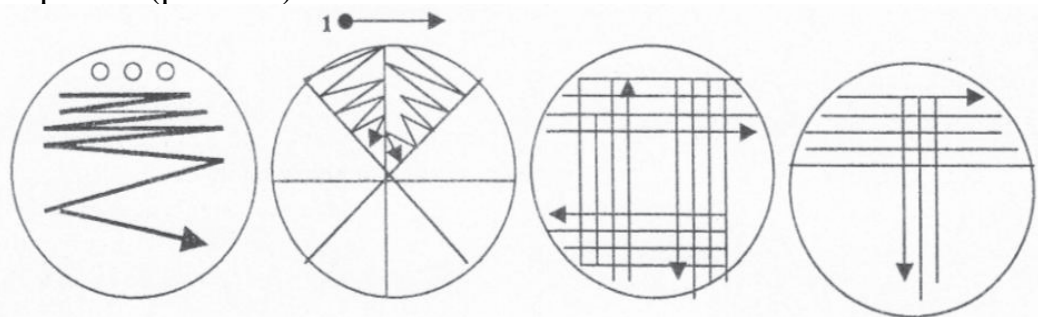


Рис.4.5 Схема посіву методом штриха, що виснажується

### Завдання

Визначити загальну кількість культур мікроорганізмів у 1 г ґрунту.

### Хід роботи:

1. Відбір проби ґрунту для аналізу.

Ґрунт і мікрофлора ґрунту дуже гетерогенні, тому необхідно відібрати по можливості більш однорідну пробу з поверхневих шарів стерильними копачками, з глибини спеціальними бурами.

З поверхні дослідної ділянки зсунути рослинні рештки і 0,5-1 см верхнього шару ґрунту. По діагоналі ділянки або в чотирьох різних кутах відібрати проби і добре перемішати. Загальна маса проби повинна бути не менша 1 кг. Ґрунт пересіяти через сито з діаметром отворів 2 мм. Якщо ґрунт

дуже вологий, то він не сіється. В цьому випадку його висипати на папір, і підсушити на повітрі. Ні в якому разі ґрунт, підготовлений до мікробіологічного аналізу, не висушувати повністю, тому що це істотно впливає на його мікрофлору.

2. Виготовлення ґрунтової суспензії для посіву. Перед посівом з ґрунту вибрати дрібні корінці, різні сторонні включення. Зважити 1 г ґрунту і висипати в колбу з 100мл стерильної води. Закрити ватним тампоном колбу струшувати на качалці протягом 5хв, зачекати 30 секунд, щоб осіли грубі частки ґрунту і зробити наступні розведення, користуючись постійним коефіцієнтом розведення, що дорівнює 10.

### 3. Виготовлення розведень.

Виготовлення розведень необхідне для одержання ізольованих клітин. Розведення зробити в стерильній водопровідній воді. В пробірки налити по 10мл (після стерилізації залишається по 9мл води). В колбу до 100 мл води додати 1 г ґрунту, тоді розведення буде 1:100. Новою стерильною піпеткою добре перемішати суспензію, набираючи і видуваючи її з піпетки, потім цією піпеткою набрати 1мл суспензії і перенести в пробірку з 9 мл стерильної води. Одержати розведення 1:1000 (або  $10^{-3}$ ). Аналогічно перенести 1мл суспензії з першої пробірки в другу й т.д., кожного разу користуючись новою стерильною піпеткою. Зазвичай готують розведення до 1:1000000 або  $10^{-6}$  (рис. 4.6).

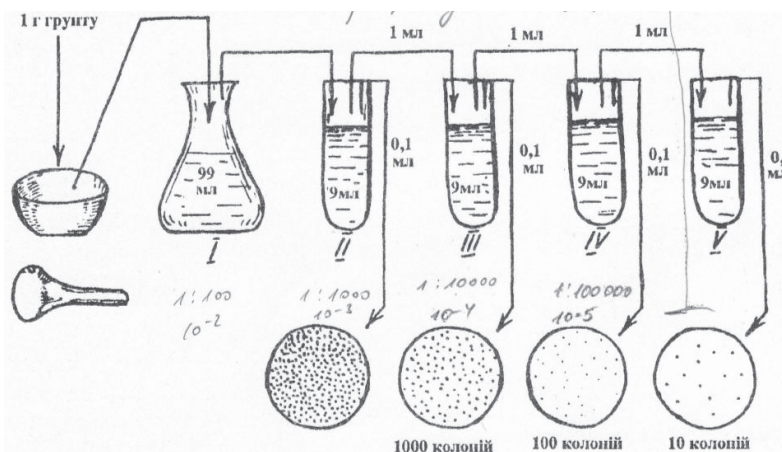


Рис. 4.6 Схема виготовлення розведень і посіву

Одночасно визначити вологість ґрунту. Для цього використати чисті алюмінієві бюкси, попередньо висушені при  $105^{\circ}\text{C}$  протягом 24 год і зважені. Накласти в бюкси приблизно 10 г ґрунту і зважити. Висушити бюкси в сушильній шафі при  $105^{\circ}\text{C}$  протягом 3-5 годин до постійної ваги і знову зважити.

Вологість ґрунту обчислити за формулою (1):

$$W = (P_1 - P_2) \times 100 / P_2 - P$$

де  $W$  – вологість, %,

$P$  – вага бюкса,  $P_1$  – вага ґрунту разом з бюксом до висушування,  $P_2$  – вага ґрунту разом з бюксом після висушування.



Поправку на вологість обчислити за формулою (2):

$$K = 100 + W / 100,$$

де (2) 100 100 W K, K – поправка на вологість.

#### 4. Посів в чашки Петрі на агаризоване середовище.

Посів зробити з трьох послідовних розведень так, щоб на одній чашці вирости десятки, на другій – сотні, а на третій – ще більше колоній. В більшості випадків посів на відповідні середовища для визначення кількості бактерій роблять з 4-5 розведень, актиноміцетів – з 3-5, грибів – з 2-4 розведень. Посів з кожного розведення зробити в 2-5 повтореннях.

Висівати суспензію можна поверхневим або глибинним способами. Поверхневий посів: на поверхню живильного агару нанести 2 краплі (0,1 мл) ґрунтової суспензії і рівномірно розподілити її по всій поверхні агару за допомогою стерильного скляного шпателя. Глибинний посів: на дно стерильної чашки Петрі стерильно внести 1мл суспензії відповідного розведення. Розплавлений агар охолодити до 45-50°C і по 10-20 мл налити у чашки Петрі, дотримуючись правил асептики.

Обережно і старанно перемішати агар з суспензією, обертаючи чашку по поверхні столу до застигання середовища. Засіяні чашки Петрі помістити в термостат кришками донизу. На кришці восковим олівцем написати номер розведення, групу, прізвище студента.

#### 5. Підрахунок колоній на чашках Петрі.

Колонії бактерій необхідно підрахувати через 3 доби, колонії грибів – через 2-7, а колонії актиноміцетів – через 7-15 діб інкубації в термостаті. Колонії слід рахувати, не відкриваючи чашку Петрі. Підрахунок проводити на тих розведеннях, при посіві яких виростало від 15 до 150 колоній бактерій і актиноміцетів, 30-50 колоній грибів. Якщо колоній багато, то дно чашки Петрі поділити на чотири сектори і рахувати кількість на секторах, а потім перерахувати на всю площу. Підрахувавши кількість колоній на всіх паралельних чашках, знайти середнє значення для однієї чашки і за формулою обчислити кількість мікроорганізмів в 1 г сухого ґрунту:

Загальну кількість КУО в 1 г ґрунту визначають за формулою (3):

$$a = \frac{b \cdot v \cdot 1000}{d \cdot z} \quad (3)$$

де  $a$  – кількість клітин в 1 г ґрунту;

$b$  – середня кількість колоній з однієї чашки Петрі;

$v$  – розведення, з якого було зроблено висів;

1000 1 в

$z$  – об'єм суспензії, який вносили на поживне середовище;

$d$  – вага ґрунту, який брали для аналізу.

Для виділення чистої культури необхідно: вибрати варіант методу виснаженого штриха, яким буде здійснюватися посів; підготувати чашку Петрі для посіву (підписати, при необхідності позначити сектори); стерильною петлею відібрати посівний матеріал з обраної колонії.

Посіяти відібраний матеріал на середовище, дотримуючись правил асептики.

## *II. Вплив антропогенних факторів на мікрофлору ґрунту*

Перетворюючи органічні і мінеральні сполуки, які надходять у ґрунт, мікрофлора забезпечує собі відносну постійність умов існування (гомеостаз). Антропогенні фактори, змінюючи екологічний стан, можуть стимулювати або пригнічувати життєдіяльність організмів у ґрунті.

Після внесення певних енергетичних речовин при окультуренні в ґрунті починають розмножуватись види, які їх використовують. Неприятливі антропогенні фактори, наприклад, іони важких металів, зменшують видову різноманітність мікрофлори і її біохімічну активність.

Для спостереження за природними угрупованнями мікробів в ґрунті видатний мікробіолог М.Г. Холодний запропонував кілька екологічних методів. Одним з найпростіших є якісний метод контактних скелець або скелець обростання. Цей метод дав вперше можливість спостерігати мікробні угруповання в природних умовах, які М.Г. Холодний назвав «природним ландшафтом ґрунтової мікрофлори» або «мікробним пейзажем». При проведенні досліджень скельця закопують в природні ґрунти, де знаходяться важкі метали в малих кількостях. Так, в дерново-підзолистому ґрунті містяться (мг/100 г ґрунту): Zn-0.4; Ni-0.1; в сірому лісовому Zn-1.2; Ni 1.1. В певних місцевостях спостерігають забруднення важкими металами.

### **Завдання**

Прослідкувати зміни мікробних пейзажів в модельних дослідах під впливом збільшення доз важких металів за допомогою методу скелець обростання.

### **Хід роботи:**

Зважити три наважки ґрунту по 200 г кожної і додати до них:

- 1) контроль (без нічого)
- 2) органічну речовину – 2 г глюкози
- 3) 2 г глюкози та 80 мг  $\text{CuSO}_4$  або 120 мг  $\text{ZnSO}_4$

Ретельно перемішати ґрунт і органічні речовини, зволожити і помістити у три банки.

Чисті предметні скельця (попередньо витримані 2 доби в конц. розчині  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , добре відмити дистильованою водою) закласти вертикально по два в кожну банку на відстані 3 см одне від одного так, щоб 2 см кожного скла залишалось над поверхнею ґрунту. Скельця добре притиснути до ґрунту.

Через 7 днів обережно витягнути по одному склу з кожної банки так, щоб не пошкодити її поверхні. Одну сторону скелець витерти чистим фільтрувальним папером. Скельця підсушити на повітрі, зафіксувати над полум'ям. Охолоджене скло обережно відмити від більших частинок ґрунту, фарбувати фуксином і розглянути під імерсією, замальовати мікробний пейзаж. Порівняти зміни мікробних пейзажів в різних варіантах досліду.

## ТЕМА 8. ОЧИЩЕННЯ ЗАБРУДНЕНИХ СЕРЕДОВИЩ ВІД НАФТИ І НАФТОПРОДУКТІВ

### *Хімічний склад і фізичні властивості нафти*

*Нафти* – це природні маслянисті горючі рідини зі своєрідним запахом. Вони мають різноманітну консистенцію – від легкоплинних до густих, малорухомих. Колір нафт у більшості випадків бурий і темнокоричневий (до чорного), рідше жовтий і зеленуватий і зовсім рідко зустрічається майже безбарвна, так звана «біла нафта». Колір нафт залежить від розчинених в них смол. Нафта являє собою суміш рідких вуглеводнів (парафінових, нафтенових і ароматичних), в якій розчинені газоподібні та тверді вуглеводні. У незначних кількостях вона містить сірчані й азотні сполуки, органічні кислоти та деякі інші хімічні сполуки.

З фізичної точки зору нафта розглядається як розчин газоподібних і твердих вуглеводнів у рідині. Природна нафта, що добувається з надр Землі, завжди містить певну кількість розчинених у ній газів (супутні природні гази), головним чином метану і його гомологів.

Аналіз нафт з виділенням індивідуальних сполук вимагає багато часу. У технологічних розрахунках при визначенні якості сировини, продуктів нафтопереробки і нафтохімії часто використовуються дані технічного аналізу, який полягає у визначенні деяких фізичних, хімічних й експлуатаційних властивостей нафтопродуктів. З цією метою використовують наступні методи, що в комплексі дають можливість охарактеризувати товарні властивості нафтопродуктів у різноманітних умовах експлуатації, пов'язати їх зі складом продуктів, що аналізуються, дати рекомендації щодо найбільш раціонального їх використання:

- фізичні – визначення густини, в'язкості, температури плавлення, замерзання і кипіння, теплоти згоряння, молекулярної маси, а також деяких умовних показників (пенетрація, дуктильність);
- хімічні, що застосовують класичні прийоми аналітичної хімії;
- фізико-хімічні – колориметрія, потенціо-метричне титрування, нефелометрія, рефрактометрія, спектроскопія, хроматографія;
- спеціальні – визначення октанового і метанового чисел моторного палива, хімічної стабільності палив і масел, корозійної активності, температури спалаху і займання тощо.

*Густина.* Нафти розрізняються за густиною, тобто за масою, що міститься в одиниці їх об'єму. Якщо в посудину з нафтою налити воду, то, за винятком рідкісних випадків, нафта спливає. Зазвичай вона легша за воду. Густина нафти, виміряна при температурі 20°C, віднесена до густини води, виміряної при 4°C, називається відносною густиною нафти. Визначення густини можна проводити при будь-якій температурі, а потім вирахувати значення відносної густини, використовуючи коефіцієнт об'ємного розширення, значення якого наводяться у довідковій літературі.

Відносна густина нафт коливається в межах 0,5–1,05 кг/дм<sup>3</sup> (зазвичай 0,82–0,95). Нафти з відносною густиною до 0,85 називаються легкими. Своєю

легкістю вони зобов'язані переважанню в їх складі метанових вуглеводнів. Відносну густину від 0,85 до 0,90 мають середні нафти, а вище 0,90 – важкі. У важких нафтах містяться переважно циклічні вуглеводні.

Густина нафти залежить від багатьох факторів: хімічної природи речовин, що до неї входять, фракційного складу, кількості смолистих речовин, кількості розчинених газів та ін. Густина нафти залежить від глибини залягання, як правило, зменшуючись з її збільшенням. Винятки з цього правила пояснюють вторинними явищами, наприклад міграцією легких нафт у більш високі горизонти залягання.

Визначення густини нафт і нафтопродуктів звичайно проводять кількома методами: за допомогою ареометрів (нафтоденсиметрів), методом зваженої краплі, за допомогою гідростатичних ваг, пікнометричним методом (найбільш точний).

У поєднанні з іншими показниками (коефіцієнт заломлювання, молекулярна маса) густина використовується для визначення вуглеводневого чи структурно-групового складу нафтових фракцій.

*В'язкісні властивості.* При видобутку і транспортуванні нафти велике значення має така її властивість, як в'язкість. Розрізняють динамічну і кінематичну в'язкість. Динамічною в'язкістю називається внутрішній опір (тертя) окремих часток рідини руху загального потоку.

У легких нафт в'язкість менша, ніж у важких. Вона зменшується також з підвищенням температури, оскільки при цьому збільшується відстань між молекулами. Тому при видобуванні та подальшому транспортуванні трубопроводами важкі нафти вимагають підігріву. При 80–100°C в'язкість важких нафт наближається до в'язкості легких.

Для характеристики в'язкості нафт і нафтопродуктів на практиці найбільш широко використовується кінематична в'язкість, що дорівнює відношенню динамічної в'язкості до густини рідини при температурі визначення.

В'язкість дуже суттєво залежить від температури, тому завжди вказується температура її визначення. В'язкість нафти при 50°C коливається в межах 1,2–55 сСт (сантистоксів) і залежить від її хімічного і фракційного складу, вмісту асфальто-смолистих речовин. Чим легший фракційний склад нафти і чим вища її температура, тим нижча в'язкість; чим більше асфальто-смолистих речовин, тим вона вища.

*Поверхневий натяг.* Поверхневим натягом (густиною поверхневої енергії) називається відношення роботи, необхідної для збільшення площі поверхні, до величини цього приросту густини. Для різних нафт поверхневий натяг на межі з повітрям коливається в межах 25–30 мН/м.

Нафтопродукти, слабо очищені від полярних домішок, мають низький поверхневий натяг на межі з водою. Для добре очищених бензинів і масел (медичне, трансформаторне) значення поверхневого натягу складають до 50 мН/м. Що стосується залежності поверхневого натягу нафтопродуктів від їх хімічного складу, то при однаковому числі вуглеводних атомів у молекулі (C<sub>6</sub>)

найбільшим поверхневим натягом при температурі 20°C володіють ароматичні вуглеводні, найменшим – метанові, а нафтові й олефінові вуглеводні займають проміжну позицію.

Поверхневий натяг вуглеводнів і нафтових фракцій є лінійною функцією температури. З підвищенням температури він зменшується і при критичній температурі дорівнює нулю. Із збільшенням тиску поверхневий натяг у системі газ–рідина зменшується.

**Твердіння і плавлення, загусання і розм'якшення, випаровування, кипіння і перегонка.** У нафті і нафтопродуктів, як у складних сумішей, немає якоїсь однієї точки твердіння чи точки плавлення. Для них характерна наявність лише температурних інтервалів. Твердіння і плавлення нафтопродуктів завжди супроводжуються проміжними стадіями – загусанням і розм'якшенням.

Рідка нафта звичайно затвердіває біля –20°C, але іноді вона загусає навіть при незначному охолодженні (температура приблизно +11°C). Чим більший вміст у нафті твердих парафінів, тим при порівняно більш високій температурі вона застигає.

Найменшу температуру твердження (до –80°C і нижче) мають бензини, потім – у порядку зростання цієї температури – розміщуються керосини, легкі й важкі масла.

З явищем випаровування нафти і нафтопродуктів доводиться рахуватися здебільшого при їх зберіганні та транспортуванні.

Оскільки нафта і нафтопродукти являють собою вельми складні суміші різних вуглеводнів і неуглеводневих сполук з різними температурами кипіння, то мова може йти лише про температурні межі, в яких википає та чи інша суміш. Температура кипіння нафти коливається в інтервалі 50–550°C.

Природні речовини можуть знаходитися в трьох агрегатних станах: твердому, рідкому і газоподібному, а також мати вигляд плазми. Кожний агрегатний стан характеризується певною внутрішньою структурою речовини і відповідно певними властивостями. При переході з твердого стану в рідкий відбувається плавлення, при переході з рідкого в газоподібний – випаровування. У твердому тілі молекули речовини коливаються щодо своїх положень рівноваги в кристалічній решітці. Якщо кристалу надати енергію, коливання посилюються і кристалічна решітка може зруйнуватися. Фазовий перехід з твердого стану в рідкий відбувається при певній, залежній від тиску температурі. Зазвичай температура плавлення підвищується із зростанням тиску.

У рідинах молекули пов'язані між собою молекулярними силами зчеплення. При підводі енергії до рідини тепловий рух молекул посилюється і ці сили вже не можуть утримати молекули в рідині. Фазовий перехід з рідкого в газоподібний стан відбувається при певній (сильно залежній від тиску) температурі, яку називають температурою кипіння.

Нафта, як і будь-яка рідина, при певній температурі закипає і переходить в газоподібний стан. Різні її компоненти переходять у газоподібний стан при різній температурі кипіння.

Легкі нафти закипають при 50–100°C, важкі – при температурі більше 100°C. Найвища температура кипіння у парафінів, тому при зниженні температури вони випадають з нафти в осад. При видобуванні нафти з високотемпературних пластових умов на поверхню землі стовбуром бурової свердловини парафіни відкладаються на стінах труб.

Різниця температур кипіння вуглеводнів, що входять до складу нафт, широко застосовується на практиці для поділу нафти на температурні фракції (франц. «фрактьон» – частка, частина від лат. «фракціо» – злом, ломка). Так, при нагріванні нафти до 180–200 °C википають вуглеводні бензинової фракції, при 200–250 °C – лігроїнової, при 250–315 °C – керосиново-газойлевої і при 315–550 °C – масляної. Залишок представлений гудроном. До складу бензинової та лігроїнової фракцій входять вуглеводні, що містять 6–10 атомів вуглецю. Керосинова фракція складається з вуглеводнів з  $C_{11}$  –  $C_{13}$ , газойлева – з  $C_{14}$  –  $C_{17}$  і так далі.

Звичайно нафти густиною менше 0,9 починають кипіти при температурі, нижчій 100°C. Температура початку кипіння нафти залежить від її хімічного складу. Так, при одній і тій же густині нафтенів та ароматичні вуглеводні киплять при більш низькій температурі, ніж метанові.

*Розчинність і розчинювальна здатність.* З водою ні нафти, ні нафтові вуглеводні практично не змішуються, а їх обопільна розчинність дуже мала і не перевищує сотих часток відсотка. Однак варто розрізняти розчинність нафтопродуктів і вуглеводнів у воді та, навпаки, розчинність води в нафтопродуктах і нафтових вуглеводнях. Розчинність нафтопродуктів у воді вкрай низька і зменшується від бензинів до більш важких продуктів – керосинів і мастил. З підвищенням температури (до критичної) вона збільшується.

У нафтових вуглеводнях вода розчиняється у незначній кількості – від 0,003 до 0,13% (мас.) при 40°C. У найбільшій кількості вода розчиняється в неграничних вуглеводнях. Близькі до останніх за розчинювальною здатністю й ароматичні вуглеводні. Найменшу кількість води розчиняють метанові вуглеводні. Із збільшенням молекулярної маси розчинювальна здатність всіх вуглеводнів стосовно води зменшується.

Розчинність води в бензинах помітно більша, ніж розчинність бензинів у воді. Із збільшенням густини нафтопродуктів розчинність води в них різко знижується. Для одного і того ж нафтопродукту розчинність води зростає з підвищенням температури.

Обопільна розчинність води і нафтопродуктів має велике практичне значення, наприклад, у зв'язку з можливістю виділення з моторного палива у вигляді мікрокрапель розчиненої в ньому води чи кришталіків льоду, що здатні ускладнювати роботу двигунів.

Важливою є властивість нафт розчиняти вуглеводневі гази. У 1 м<sup>3</sup> нафти може розчинитися до 400 м<sup>3</sup> горючих газів, що приблизно в 10 разів більше розчинності природного газу у воді.

За співвідношенням вмісту метану і його гомологів природні вуглеводневі гази поділяються на сухі та жирні. У сухому газі переважає метан – 98,8%, у жирному – до 50% складають етан, пропан, бутан і вищі вуглеводні. Жирний газ розчиняється в нафті краще, ніж сухий.

За певних умов рідкі вуглеводні можуть розчинятися в газі. Якщо об'єм газової фази значно перевищує об'єм нафти, то при підвищенні тиску до 20–25 МПа і температурі 90–95°C рідкі вуглеводні можуть перейти в пароподібний стан (випаровуватися) і розчинитися в газі. Ця властивість рідких вуглеводнів, на протилежність процесу розчинення (конденсації) вуглеводневих газів у нафті, називається зворотним, або ретроградним (лат. «ретро» – назад, у зворотний бік) випаровуванням. Такі умови мають місце на глибині, в надрах Землі. При видобуванні газу на поверхню температура і тиск різко знижуються і з газової суміші починає випадати конденсат у вигляді рідких вуглеводнів. Це явище називається зворотною конденсацією. Газові поклади, в яких нафта знаходиться в пароподібному стані й насичує вільний газ, називаються газоконденсатними. Вміст конденсату в таких покладах коливається від 50 до 300–400 см<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

*Молекулярна маса.* Молекулярна маса – найважливіша характеристика нафти і нафтопродуктів. Цей показник дає «середнє» значення молекулярної маси речовин, що входять до складу тієї чи іншої фракції нафти, і дозволяє зробити висновок про склад нафтопродуктів. Він широко застосовується для розрахунків апаратури нафтопереробних заводів. Молекулярна маса пов'язана з температурою кипіння продуктів і використовується для визначення молекулярної рефракції, парахору (емпірична залежність, що дозволяє охарактеризувати хімічний склад нафтових фракцій) та ін.

Молекулярну масу нафтопродуктів, як і індивідуальних речовин, визначають різними методами, що пояснюється різноманітністю властивостей цих продуктів. Молекулярна маса визначається кріоскопічним методом – за зниженням температури кристалізації розчину досліджуваного продукту, наприклад у бензолі, нітробензолі та ін.; ебуліоскопічним – за підвищенням точки кипіння (у випадку легких нафтових фракцій); методом Раста – за зниженням температури плавлення сплаву досліджуваної речовини з камфорою, бензойною кислотою, дифеніламіном та ін. (для більш висококиплячих нафтопродуктів). Крім того, молекулярну масу нафтопродуктів можна розраховувати за емпіричними формулами. Найчастіше використовується формула Б.П. Войнова:

$$M = a + bt + ct^2,$$

де  $t$  – середня температура кипіння продукту, °C;  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – постійні, числові значення яких різні для кожної групи вуглеводнів.

*Теплові властивості.* Найголовнішою властивістю нафти і горючих газів, яка принесла їм світову славу виняткових енергоносіїв, є їх здатність виділяти

при згорянні значну кількість теплоти. Теплотою згоряння називається відношення кількості теплоти, що виділяється при горінні, до маси вигорілого до кінця (тобто до утворення вуглекислоти  $\text{CO}_2$  і води  $\text{H}_2\text{O}$ ) палива.

Нафта, природний горючий газ та їх похідні мають найвищу серед всіх типів палива теплоту згоряння. Теплота згоряння нафти – 41 МДж/кг – в 1,3 більша теплоти згоряння кращих сортів кам'яного вугілля – 31 МДж/кг; теплота згоряння бензину – 42 МДж/кг; дизельного палива – 42,7 МДж/кг, етану, пропану і бутану – відповідно 64,5; 93,4 і 124, а природного газу – 35,6 МДж/м<sup>3</sup>.

Теплоту згоряння нафти, гасу та інших нафтопродуктів визначають у калориметричній бомбі, а газів – в газовому калориметрі. Для нафт теплота згоряння коливається у вузьких межах: від 40000 до 45000 кДж/кг, причому отримувана величина тим більша, чим менша густина нафт (і відповідно їх фракцій). Теплота згоряння нафтопродуктів залежить також від особливостей їх вуглеводневого складу. Приблизно з похибкою 3–5% теплоту згоряння нафт і нафтопродуктів можна вирахувати за допомогою різноманітних емпіричних формул, наприклад за даними їх елементного аналізу (Д.І. Менделєєв), а також за їх густиною (формула Кrego).

*Колір, флуоресценція і люмінесценція.* Колір нафт залежно від їх хімічного складу може бути різним. Чим більше в нафті смол і особливо асфальтенів, тим забарвлення її за глибиною чи відтінком більш темне. Легкі нафти густиною 0,78–0,79 кг/дм<sup>3</sup> мають жовте забарвлення, нафти середньої густини (0,79–0,82 кг/дм<sup>3</sup>) – бурштинового кольору і важкі – темно-коричневі та чорні.

Більшість нафт, а також їх фракції володіють флуоресценцією: вони мають синюватий або зеленуватий колір у відбитому світлі. Ця властивість пов'язана з присутністю в нафтах багатоядерних вуглеводнів ароматичного ряду.

Велике значення як метод аналізу під час геологічних пошуків нафти має люмінесценція (лат. *luminescence* – той, що світиться), тобто свічення нафт і нафтових бітумів, що виникає при опроміненні їх ультрафіолетовими променями. Під час пошуків нафти навіть незначні її сліди у гірських породах можуть бути виявлені за допомогою люмінесцентного аналізу. При цьому легкі нафти світяться інтенсивно блакитним кольором, а важкі – бурим і жовто-бурим. Відомо, що вуглеводні, які складають нафтові фракції з температурою кипіння до 300°C, а також парафіни і асфальтени не випромінюють світла у видимій частині спектру під дією ультрафіолетових променів. На відміну від цього до люмогенних речовин належать нафтові кислоти, поліциклічні ароматичні вуглеводні та смоли.

*Оптичні властивості.* Майже всі нафти мають властивість обертати площину поляризації променів світла, причому для більшості їх характерне слабке праве обертання. Ця властивість визначається за допомогою поляриметрів.

Оптична активність зростає з підвищенням температури кипіння фракції, тобто збільшенням молекулярної маси. Зовсім не обертають площину поляризації бензинові фракції нафти, малою оптичною активністю володіють



нафти, багаті на метанові й нафтеніві вуглеводні, а також смоли і нафтеніві кислоти. Ця властивість здебільшого притаманна, очевидно, складним чи гібридним нафтенароматичним вуглеводням. Штучні нафти на відміну від природних оптичної активності не виявляють.

*Електричні властивості.* Нафта і нафтопродукти не проводять електричний струм, вони є діелектриками і характеризуються надзвичайно високим електричним опором. Наприклад, для парафіну він складає від 2 до  $0,3 \cdot 10^8$  Ом·м. Деякі з них застосовуються в електротехнічній промисловості та радіотехніці як ізоляційний матеріал (парафін) чи ізолююче середовище (трансформаторні масла) в трансформаторах, масляних реостатах і вимикачах.

І нафта, і нафтопродукти при терті (в процесі заповнення сховищ і перекачування з великою швидкістю по трубах, а також фільтрації) легко електризуються і на їх поверхні можуть утворюватися й накопичуватися заряди статичної електрики, у зв'язку з чим можуть відбуватися вибухи і пожежі. Найбільш небезпечні щодо цього світлі нафтопродукти, які добре накопичують статичну електрику. Для запобігання небезпеки вибухів апаратуру, резервуари і трубопроводи заземляють, а також застосовують спеціальні антистатичні присадки у нафтопродуктах.

Діелектрична проникність нафт і нафтопродуктів у порівнянні з іншими діелектриками невелика і їх діелектрична стала коливається у вузьких межах. Пробивна напруга нафтопродуктів залежить від багатьох факторів – вологості, домішок, температури, тиску.

За фізичними і хімічними властивостями нафти розрізняють три види її складу: елементний, фракційний та груповий хімічний.

*Елементний склад нафти.* Склад і властивості нафт залежать від родовища і можуть коливатися у доволі широких межах.

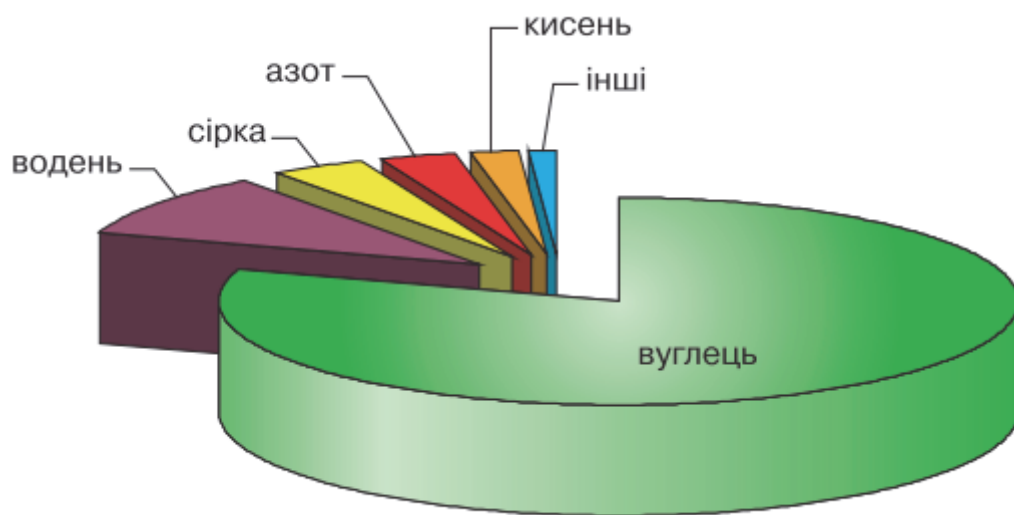


Рис. 4.7 Хімічний склад нафти

Численними хімічними аналізами встановлено, що нафта складається головним чином з вуглецю і водню – відповідно 79,5–87,5 і 11,0–14,5% від маси (рис. 4.7). Окрім них, у нафтах присутні ще три елементи – сірка, кисень і азот.

Їх загальна кількість звичайно складає 0,5–8%. У дуже незначних концентраціях в нафтах зустрічаються метали – ванадій, нікель, залізо, алюміній, мідь, магній, барій, стронцій, марганець, хром, кобальт, молібден, калій, натрій, цинк, кальцій, срібло, галій тощо, а також бор, миш'як, йод. Загальний склад металів у нафті рідко перевищує 0,02–0,03% від її маси.

Вказані елементи утворюють різноманітні класи хімічних сполук, з яких і складаються нафти.

Вуглеводні являють собою головний клас хімічних сполук в нафтах. Виявлені вони у складі нафт у 1817 р. швейцарським природознавцем Н. Сосюром.

У табл. 4.10 наведено елементний склад деяких горючих копалин.

Поряд з вуглеводнями в нафтах присутні інші хімічні сполуки.

Сірка міститься майже у всіх нафтах. Типи сірчаних сполук в них дуже різноманітні. Окремі нафти містять вільну сірку, яка при тривалому зберіганні випадає в резервуарах у вигляді аморфної маси. В інших випадках сірка знаходиться в нафтах і нафтопродуктах у зв'язаному стані, тобто у вигляді сірководню і сіркоорганічних сполук (меркаптанів, сульфідів і тощо).

Основна маса сірчистих сполук нафти має значну молекулярну вагу і високу температуру кипіння. Тому від 70 до 90% всіх сірчистих сполук зосереджується в мазуті та гудроні.

Нафта, яка видобувається на промислах, містить розчинені гази, механічні домішки у вигляді піску і глини (до 0,15%), воду (до 50% і більше), солі (від 0,0001 до 10 г/дм<sup>3</sup>). Для збільшення нафтовіддачі нафтового пласту, запобігання корозії оснащення, відкладання парафінів і солей використовуються спеціальні способи. У нафту можуть потрапляти небажані компоненти. Тому з метою забезпечення необхідної якості нафти для її подальшого транспортування і переробки на промислах проводиться відповідна підготовка (стабілізація, зневоднення, знесолювання нафти тощо).

Таблиця 4.10

**Елементний склад деяких горючих копалин, %**

Копалини	Вуглець	Водень	Кисень, сірка та ін
Нафта	79,5 – 87,5	11,0 – 14,5	0,5 – 8,0
Сланці	76,6	9,2	14,2
Торф сухий	57,7	6,1	36,2
Вугілля:			
кам'яне	81,3	5,2	13,5
буре	74,8	5,1	20,1

Фракційний склад нафти. Нафта і нафтопродукти звичайними методами перегонки неможливо розділити на індивідуальні сполуки. Процес проходить шляхом перегонки на окремі частини, будь-яка з яких є менш складною

сумішшю. Такі частини називаються фракціями, або дистиллятами. Фракція – це група вуглеводнів, яка википає в певному інтервалі температур.

Нафтові фракції на відміну від індивідуальних сполук не мають постійної температури кипіння. Вони википають в певних інтервалах температур, тобто мають температуру початку і закінчення кипіння. Ці обидві температури залежать від хімічного складу фракції.

Фракційний склад нафт і нафтопродуктів показує вміст в них різноманітних фракцій, що википають в певних температурних межах.

Для визначення фракційного складу нафт і їх окремих частин у лабораторній практиці найбільш поширеними стали наступні методи перегонки.

1. Низькотемпературна ректифікація – для зріджених газів і фракцій вуглеводнів, що киплять при температурі нижче 20°C.

2. Середньотемпературна перегонка – для нафтопродуктів, що википають при температурі до 350°C.

3. Вакуумна перегонка – для рідин, що википають при температурі вищій 350°C.

4. Молекулярна дистиляція – для високомолекулярних речовин.

5. Перегонка методом одноразового випарювання.

При розділенні нафти в лабораторних умовах в інтервалі температур від 40 до 180–205°C відбирають бензинові фракції, причому отриману при 160–205°C називають лігроїною фракцією, а при 40–70 і до 90°C – петролейним ефіром; в інтервалі температур від 200 до 300°C отримують керосинові фракції; при 270–350°C – газойлеву (газойль); при 300–370°C – соляріву.

Після відгону з нафти всіх цих фракцій залишається в'язка темна рідина, яка зветься мазутом. Тривалий час, до кінця ХІХ ст., мазут в промисловості не використовувався: він належав до відходів нафтопереробки. Це пояснюється значними труднощами подальшої його переробки, пов'язаними з тим, що температура перегонки мазутних фракцій при атмосферному тиску вища, ніж температура їх термічної деструкції, тобто розриву молекул на частинки під впливом температури. Розділити мазут на фракції вдалося лише при зниженні тиску. Цей процес, який називається вакуумним, дозволив отримати з мазуту соляріві фракції і спеціальні масла (легкі, середні та в'язкі), у тому числі масла для двигунів внутрішнього згорання.

У промислових умовах перегонка нафти здійснюється не послідовним випарюванням (як на лабораторних апаратах), а одноразовим випарюванням з подальшою ректифікацією. При цьому відбирають наступні світлі фракції (дистиляти): бензинову (до 180°C), керосинову (120–315°C), дизельну, або керосино-газойлеву (180–350°C), різноманітні проміжні фракції. Світлі дистиляти за допомогою наступної очистки, змішування, а іноді й вторинної перегонки перетворюються в товарні продукти прямої перегонки нафти.

До світлих товарних нафтопродуктів прямої перегонки відносяться бензини (авіаційний, автомобільний), розчинники й керосини (освітлювальний і для технічних цілей). Темний продукт, що називається мазутом, і залишок, який

отримують в результаті прямої перегонки нафти при температурі вищій 300–350°C, переробляються шляхом розгонки під вакуумом з метою отримання масляних дистилятних масел.

Дистилятні масла (авіаційні; автомобільні; автотракторні дизельні; індустріальні – машинні трансформаторні, турбінні, циліндрові; білі масла – парфумерне і вазелінове медичне – та ін.), що утворюються після розгонки мазуту, відбираються вже не за температурою кипіння і густиною, а за величиною їх в'язкості.

Залишок після перегонки мазуту (при температурі вище 500°C) називається гудроном або напівгудроном залежно від в'язкості й використовується для приготування високов'язких мастил, будівельних і дорожніх матеріалів (бітуми нафтові).

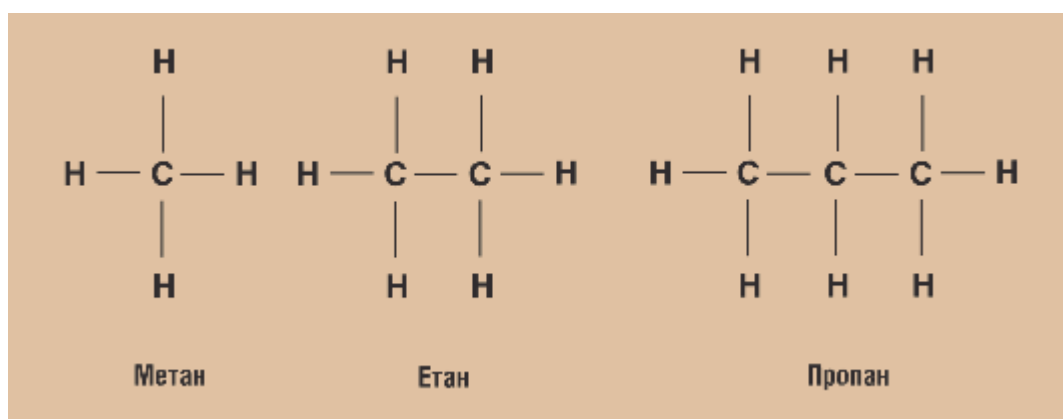


Рис.4.8 Структурні формули метанових вуглеводнів

Перегонці на масла піддаються лише мазути так званих «масляних нафт». У низці випадків мазути таких «масляних нафт» використовуються самостійно (без перегонки на масла) чи в суміші з іншими нафтопродуктами як мастильні мазути, тобто дешеві мастильні матеріали. Значно більше мазуту використовується як паливо, в тому числі для суднових двигунів. Особлива велика кількість мазуту служить сировиною для переробки на легкі моторні палива.

Нафти різних родовищ дуже відрізняються одна від одної за фракційним складом, а звідси – і за потенційним вмістом бензинових, керосинових, дизельних і масляних дистилятів. Очевидно, що фракційний склад нафти визначає шляхи її промислової переробки.

Більшість нафт містять в середньому 15–30% фракцій, які википають при температурі до 200°C, 40–50% фракцій, які переганяються в інтервалі 300–360°C.

Легкі нафти, що не містять масляних фракцій, зустрічаються рідко. Здебільшого вони є супутниками газів у газоконденсатних родовищах і їх називають газоконденсатами.

*Груповий хімічний склад нафти.* Вуглеводні, які складають основу нафти і горючих газів, представлені багатьма індивідуальними сполуками. Хімічний

склад нафти до кінця не відомий, але вже встановлено 425 вуглеводневих сполук, кожна з яких у свою чергу є вихідною для більш складних сполук. У залежності від будови молекул вуглеводні, що входять до складу нафт і природних газів, поділяються на три основні групи: метанові, чи парафінові (алкани), нафтенові (циклани) і ароматичні (арени). Представники цих груп відрізняються один від одного співвідношенням числа атомів вуглецю і водню, яке відображається загальною формулою групи, і характером їх внутрішніх структурних зв'язків.

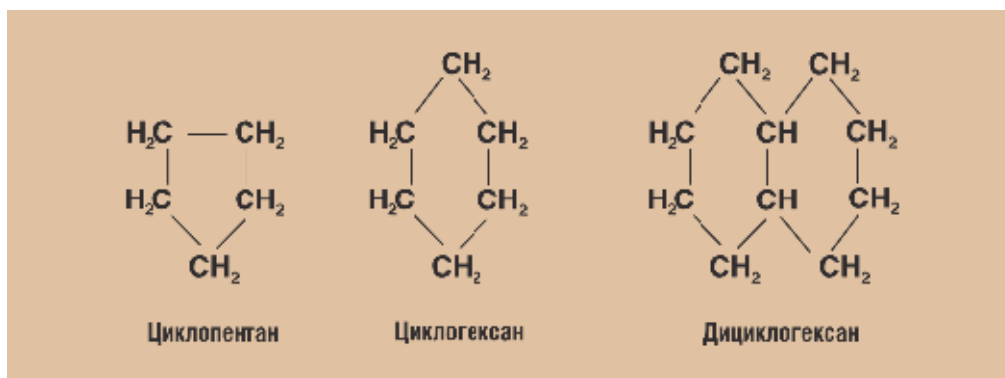


Рис. 4.9 Структурні формули нафтенових вуглеводнів

Таким чином, груповим хімічним складом нафти називають вміст у ній вуглеводнів певних хімічних груп, які характеризуються співвідношенням і структурою сполук атомів вуглецю і водню.

Метанові вуглеводні (алкани) – насичені вуглеводні, в яких відсутні подвійні зв'язки. Загальна формула  $C_nH_{2n+2}$ , де  $n$  – число атомів вуглецю. Таке атомарне співвідношення вуглецю і водню у вуглеводнях цієї групи було встановлене англійськими хіміками ще в 1833 р. У зазначеній формулі  $n$  змінюється від 1 до 60. Це означає, що в природі існує послідовний ряд метанових вуглеводнів, що поступово ускладнюються.

Кожний наступний член у цьому ряду відрізняється від попереднього на один атом вуглецю і два атоми водню. Подібний ряд називається гомологічним (грецьк. «хомос» – схожий), а його члени – гомологами.

Існування гомологічних рядів для вуглеводневих сполук було виявлено у 1843 р. видатним французьким хіміком Шарлем Фредеріком Жераром. Це відкриття мало велике значення для розуміння закономірностей зміни складу нафт. Для вуглеводнів метанового ряду характерне утворення відкритих ланцюжків, які збільшуються (рис.4.8).

У молекулах вуглеводнів метанового ряду валентність всіх атомів вуглецю насичена до межі, тому метанові вуглеводні називаються насиченими, чи граничними. Внаслідок цього вони мають малу хімічну активність. Звідси пішла ще одна їх назва – парафінові (лат. «парум аффініс» – малоспоріднений, тобто інертний, не схильний до реакцій) вуглеводні. Парафінами називається суміш вуглеводнів метанового ряду з молекулярною масою від 240 і вище.

Вміст парафінових вуглеводнів у нафтах коливається від частки відсотка до 20% і більше.

У залежності від молекулярної маси і хімічної структури метанові вуглеводні знаходяться в газоподібній, рідкій і твердій фазах. Так, перші чотири члени ряду (метан, етан, пропан, бутан) за нормальних умов (101,32 кПа і 0°C) – гази, вуглеводні від пентану до пентадекану  $C_{15}H_{32}$  за тих же умов – рідини, а від гексадекану  $C_{16}H_{34}$  і вище – тверді речовини.

Нафтенові вуглеводні (циклани) були відкриті у 80-ті роки позаминулого століття російським вченим В.В.Марковніковим. Їх спільна формула  $C_nH_{2n}$ . Молекули нафтенових вуглеводнів складаються з декількох метиленових груп –  $CH_2$ , з'єднаних у замкнуте кільце, чи цикл (рис.4.9).

Тому такі вуглеводні називають ще поліметиленовими, або цикланами (грецьк. «циклос» – коло). Нафтенові вуглеводні, як і метанові, є насиченими. Молекули можуть складатися з одного чи двох, трьох і більше об'єднаних метиленових кілець.

У нафті містяться переважно нафтени, кільця яких складаються з п'яти чи шести груп –  $CH_2$ . До кілець – циклів – можуть приєднуватися і бокові ланцюжки метанової будови. У цьому випадку атом водню в метиленовій групі  $=CH_2$  буде заміщений на будьякий вуглеводневий радикал – метил  $CH_3$ , етил  $C_2H_5$  та ін. Таким чином, без розриву нафтенного кільця виходять нові вуглеводні – похідні циклопентану і циклогексану. Ними можуть бути, наприклад, метилциклопентан, чи метилпентаметилен ( $C_6H_{12}$ ), етилциклогексан, чи етилгексаметилен ( $C_8H_{16}$ ) та ін.

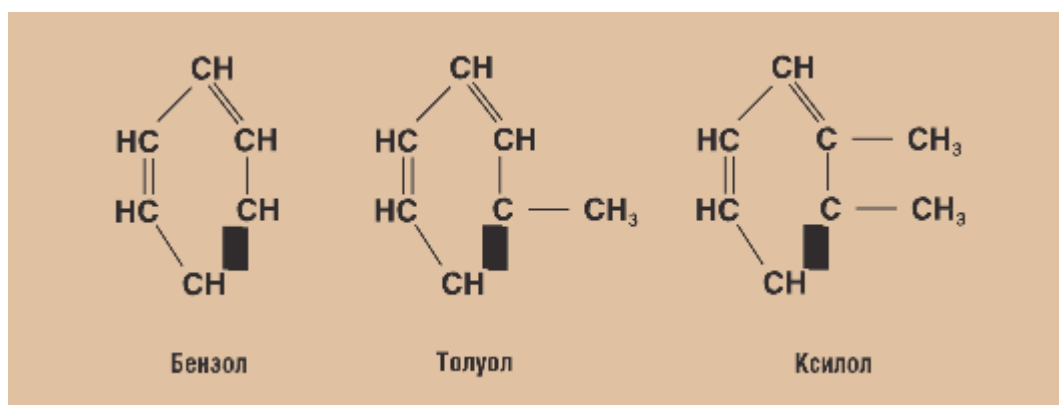


Рис. 4.10 Структурні формули ароматичних вуглеводнів

Нафтенові вуглеводні – важлива складова частина моторного палива і олив. Автомобільним бензинам вони надають високих експлуатаційних властивостей.

Нафтенові вуглеводні легких фракцій нафт широко використовуються як сировина для отримання ароматичних вуглеводнів, бензолу і толуолу, а нафтенові вуглеводні бензинових фракцій у процесі каталітичного риформінгу перетворюються в ароматичні.



**Вміст вуглеводневих фракцій, % (В.А. Михайлов та ін., 2009)**

Регіони розміщення нафтових родовищ	Парафінові фракції	Нафтові фракції	Ароматичні фракції
Прикарпаття	47–49	26–35	18–25
Дніпровсько-Донецька западина	28–66	22–53	12–33
Білорусь	60–71	13–27	11–21
Литва	73–74	22–23	4–5
Азербайджан (материк)	28–56	39–68	2–17
Азербайджан (море)	35–56	27–60	1–20
Дагестан	58–62	25–31	11–13
Чечено-Інгушетія	51–61	16–41	8–28
Калінінградська область	70–74	21–26	4–5
Краснодарський край	20–47	42–56	11–50
Ставропольський край	51–65	20–37	12–15

*Ароматичні вуглеводні* – одна з найбільш важливих і обширних груп вуглеводнів. Їх формула  $C_nH_{2n-t}$ , де  $n$  починається з 6,  $t$  може бути виражене парними числами від 6 і більше. У структурному відношенні молекула ароматичних вуглеводнів має вигляд замкнутого кільця (циклу), яке об'єднує радикали – СН (рис. 4.10).

На відміну від молекули нафтенів в ароматичному кільці атоми вуглецю через один з'єднані не одинарними зв'язками, а подвійними. Тому ароматичні вуглеводні є ненасиченими (неграничними) сполуками, але в той же час внаслідок замкнутої циклічної (кільцевої) будови вони малоактивні. Для них характерні реакції заміщення атомів водню атомами інших елементів – хлору, бром, йоду та ін.

Найпростіша будова серед ароматичних вуглеводнів характерна для бензолу  $C_6H_6$  (кільце – «шестикутник»). Інші відомі ароматичні вуглеводні є, по суті, його похідними.

У порівнянні з іншими групами вуглеводнів ароматичні мають найбільшу густину. За в'язкістю вони займають проміжне становище між парафіновими та нафтовими.

Ароматичні вуглеводні – цінні компоненти бензинів, однак вони знижують якість реактивних та дизельних палив, оскільки погіршують характеристики їх згоряння.

Ненасичені вуглеводні (алкени, алкадієни) зустрічаються в нафтах дуже рідко і в невеликих кількостях.

У табл. 4.11 на прикладі нафт деяких родовищ наведені узагальнені показники вмісту парафінових, нафтових і ароматичних фракцій.

Низький технічний рівень виробництва нафтопереробної промисловості, недосконалість технологічних схем нафтопереробних заводів і випуск

неякісних нафтопродуктів викликають інтенсивне забруднення навколишнього середовища.

Україна також стоїть перед необхідністю вирішення цієї складної проблеми. Процес біоремедіації нафтового забруднення є одним з потенційно найбільш ефективних шляхів вирішення цих питань.

Процес біологічного очищення визначається як використання мікроорганізмів для нейтралізації або видалення забруднюючих речовин за допомогою їх різноманітних метаболічних можливостей. Технологія біологічного очищення вважається неінвазивною і рентабельною. Біодеградація популяціями мікроорганізмів представляє собою один з основних механізмів, за рахунок яких нафта та інші забруднюючі речовини вуглеводневої структури можуть бути видалені з навколишнього середовища дешевше, ніж за допомоги інших технологій відновлення.

Успіх біоремедіації забруднення нафтопродуктами залежить від здатності створювати і підтримувати умови, які сприяють підвищенню швидкості біодеградації нафтопродуктів в навколишньому середовищі. Однією з важливих вимог є наявність мікроорганізмів з відповідними можливостями обміну речовин. Фізичні та хімічні характеристики нафти і площа поверхні забруднення також є важливими факторами, що визначають успіх біоремедіації.

Можливість росту мікроорганізмів на вуглеводневому середовищі залежить від комбінації двох чинників: біохімічної взаємодоповнюваності організмів і стійкості до токсичної дії вуглеводнів. Інтенсифікація біодеградації нафтового забруднення може бути досягнута шляхом оптимального поєднання цих двох факторів. Враховуючи характер багатоконпонентних нафтових забруднень, мікроорганізми (асоціації мікроорганізмів) повинні мати можливість рости на більшості компонентів забруднюючих речовин і бути стійкими до їх токсичної дії для повної мінералізації нафтопродуктів. Нафтопродукти лише в низьких концентраціях чинять стимулюючу дію на біоту, тому необхідно контролювати їх кількісний вміст в середовищі для створення сприятливих умов біодеградації. Висока специфічність ферментів мікроорганізмів є причиною спеціалізації штамів відносно певних вуглеводнів, тому також необхідним є проведення пошуку штамів, здатних деградувати широкий спектр забруднюючих нафтових речовин.

## **Лабораторна робота 29**

### **Вивчення методів очищення поверхні водоймищ від нафти і нафтопродуктів**

Вода – одна з найпоширеніших сполук на Землі. Вона займає 71 % земної поверхні. Забруднення водних ресурсів – це зміни їхніх фізичних, хімічних та біологічних властивостей внаслідок потрапляння до них шкідливих рідких, твердих та газоподібних речовин, що роблять воду небезпечною для використання, завдають школи суспільному господарству і здоров'ю людей. Розрізняють забруднення водоймищ фізичні (механічні), хімічні, біологічні (бактеріальні), радіоактивні і теплові. Особливо небезпечним є забруднення



водою нафтою і нафтопродуктами, яке належить до хімічних забруднень. Це основна забруднювальна речовина морів і океанів. Сюди вона потрапляє під час буріння морського дна, аварій танкерів, які перевозять нафту, в різних районах Світового океану. У моря і океани щороку потрапляє більше 3 млн. т нафти і нафтопродуктів. Попадаючи в морську воду, нафта спочатку розтікається у вигляді поверхневої плівки, утворюючи шар різної товщини. За кольором нафтової плівки можна приблизно оцінити її товщину. Різниця оптичних характеристик нафтових плівок і морської води дозволяє проводити дистанційне виявлення й оцінку нафтових забруднень на поверхні моря чи океану в ультрафіолетовій, видимій та інфрачервоній частинах спектру. Для цього застосовуються пасивні і активні методи. Пасивні методи використовують природне випромінювання, відбите чи випромінюване системою нафта-вода. Активні методи дистанційного виявлення нафтових забруднень води полягають у використанні штучного джерела випромінювання. До них належать методи оптичної локації, засновані на різниці коефіцієнтів відбивання від забрудненої і чистої поверхні води (діапазон 300 - 400 і 1000 - 1200 нм), а також методи, засновані на випромінюванні флюоресценції плівок нафти за допомогою лідарів в робочих довжинах хвиль 337, 354 і 530 нм.

Допустиме значення концентрації нафти та нафтопродуктів у воді, тобто ГДК, знаходиться в межах 50 мкг/л. Найширшого використання набув збирач нафти марки СН-79, який успішно використовується в Одеському порту. Для видалення із поверхні води зібраної нафтової плівки застосовують такі методи: а) механічний, за допомогою суден, оснащених спеціальними сепараторами і ваннами для відстоювання води, забрудненої нафтою. б) адгезія нафти на поверхні твердих речовин виготовлених із неопрену у вигляді ременів або циліндрів, які обертаються; в) розпилювання на забрудненій поверхні моря чи океану розплавленого парафіну, або розчину полівінілового пластику на основі легкого розчинника, в яких після охолодження твердне нафта і суміш видаляється механічним способом; г) застосування синтетичних водовідштовхуючих пористих матеріалів, які здатні ефективно сорбувати нафту, наприклад, гідрофобізований спучений перліт, бентонітові глини, дерев'яні ошурки, активоване вугілля, торф, полістирол; д) застосування пінопластів, наприклад, олеофільної поліуретанової піни (бібіпол), подрібненої на дрібні шматочки, які здатні поглинути в 100 разів більше нафти, ніж власна маса; е) використання спеціальних речовин - диспергентів марки ДН-75 і ЕПН-5, які переводять нафтову плівку в емульсію, після чого її очищають від нафти біохімічним способом; ж) видалення нафти із поверхні води за допомогою біологічних мікроорганізмів типу *Calanus*, *Penicillium*, *Candida*; з) агломерація нафтопродуктів та нафти сумішшю залишкового бурого вугілля (ЗБВ) та алюмосилікатних мікропор (АСМ П); і) обробка забрудненої нафтою поверхні води сапропелем (органічного і органо-мінерального типу) із добавкою органічного розчинника, який складається із суміші вищих жирних кислот ( $C_nH_{2n+1}COOMet$ , де  $n > 2$ ). Схема лабораторної установки: 1 - посудина; 2 -

вода; 3 - дозатор нафтопродуктів; 4 - нафтова пляма; 5 - дозатор сорбенту; б - бункер сорбенту; 7 - сорбент; 8 - збірник для нафти чи нафтопродуктів

**Мета роботи:** вивчення особливостей забруднення водоймищ нафтою і нафтопродуктами та методів і засобів очищення води від цих забруднень.

**Матеріали та обладнання:** рН-метр або іонометр, мірний циліндр, колби, піпетки, дистильована вода, зразки ґрунту.

**Хід роботи:**

Заповнити водою посудину 1. Перевірити наявність у збірнику 8 нафти чи нафтопродуктів, а також сорбенту у бункері 6. За допомогою дозатора 3 створити на поверхні води 2 нафтову пляму 4 розміром 20 - 60 мм. Дозатором 5 на поверхню плями нафти чи нафтопродуктів подати сорбент у кількості, який забезпечує повне покриття плями і одночасно вмикаючи секундомір. Після повного поглинання (сорбції) нафтової плями вимкнути секундомір, фіксуючи час досліду. Дослід повторити із декількома нафтопродуктами (маслами) і декількома сорбентами, результати записати у таблицю .

Зібрані з поверхні сорбовані нафтопродукти зібрати у спеціальну посудину, яку видає лаборант. Навести порядок на робочому місці.

*Таблиця 4.12*

**Очищення поверхні води від нафти**

Тип нафтопродуктів	Тип сорбенту	Час сорбції, хв
Нафта-сирець	Пінопласт	5
Нафта-сирець	Пінопласт + тирса	8
Масло для двигунів	Пінопласт	2
Масло для двигунів	Пінопласт + тирса	3

**Висновок.** Вивчено особливості забруднення водоймищ нафтою і нафтопродуктами та методи і засоби очищення води від цих забруднень. Для видалення нафти з поверхні води існує багато методів. Кожен із них має певні переваги і недоліки. Найперспективніше застосування комбінованих методів в такій послідовності: механічний - сорбуючий - диспергуючий - біологічний.

**КОТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ**

1. Вкажіть сновні причини забруднення навколишнього середовища.
2. Який склад атмосферного повітря?
3. Які основні особливості забруднюючих речовин і їх класифікація?
4. Коли і де були проведені перші дослідження в даному напрямку?
5. Назвіть методи очистки повітря.
6. Що таке фіторемедіація?
7. Що таке біоремедіація ґрунтів?
8. Опишіть методи біоремедіація ґрунтів.
9. Що таке біоремедіація in situ та ex situ?
10. Види фіторемедіації, дати визначення.
11. Що розуміють під «фітодеградацією»?
12. Охарактеризуйте вид фіторемедіації «флотація».

## РОЗДІЛ 5. НОВІ ПІДХОДИ В ЕКОБІОТЕХНОЛОГІЧНІЙ ГАЛУЗІ

### ТЕМА 9. ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Сонце є основним джерелом енергії, що забезпечує існування життя на Землі. Унаслідок реакцій ядерного синтезу в активному ядрі Сонця досягаються температури до  $10^7$  К. При цьому поверхня Сонця має температуру близько 6000 К. електромагнітним випромінюванням сонячна енергія передається в космічному просторі і досягає поверхні Землі. Вся поверхня Землі отримує від Сонця потужність близько  $1,2 \cdot 10^{17}$  Вт. Це еквівалентно тому, що менш одну годину отримання цієї енергії досить, щоб задовольнити енергетичні потреби всього населення Земної кулі протягом року. Максимальна щільність потоку сонячного випромінювання, що приходить на Землю, складає приблизно,  $1$  кВт/м<sup>2</sup>. Для населених районів залежно від місця, часу доби і погоди потоки сонячної енергії змінюються від 3 до 30 МДж/м<sup>2</sup> в день.

В середньому для створення комфортних умов життя потрібно приблизно 2 кВт енергетичної потужності на людину або приблизно 170 МДж енергії в день. Якщо прийняти ефективність перетворення сонячної енергії в зручну для споживання форму 10 % і потік сонячної енергії 17 МДж/м<sup>2</sup> в день, то потрібну для однієї людини енергію можна отримати з 100 м<sup>2</sup> площі земної поверхні. При середній щільності населення в містах 500 чоловік на 1 км<sup>2</sup> на одну людину доводиться 2000 м<sup>2</sup> земної поверхні. Таким чином, достатньо всього 5 % цієї площі, щоб за рахунок сонячної енергії, що знімається з неї, задовольнити енергетичні потреби людини.

Для характеристики сонячного випромінювання використовуються наступні основні величини.

*Потік випромінювання* – величина, рівна енергії, переносимій електромагнітними хвилями за одну секунду через довільну поверхню. Одиниця вимірювання потоку випромінювання - Дж/с=Вт.

*Щільність потоку випромінювання (енергетична освітленість)* – величина, рівна відношенню потоку випромінювання до площі рівномірно опромінюваної ним поверхні. Одиниця вимірювання щільності потоку випромінювання – Вт/м<sup>2</sup>.

Щільність потоку випромінювання від Сонця, падаючого на перпендикулярний йому майданчик поза земною атмосферою, називається сонячною константою  $S$ , яка рівна  $1367$  Вт/м<sup>2</sup>.

**Світловий потік.** Світловим потоком називається потік випромінювання, що оцінюється за його дією на людське око. Людське око неоднаково чутливе до потоків світла з різними довжинами хвиль. Зазвичай при денному освітленні очей найбільш чутливий до світла з довжиною хвилі 555 нм. Тому однакою за потужністю потоки випромінювання, але різних довжин хвиль викликають різні світлові відчуття у людини. Одиницею вимірювання світлового потоку з погляду сприйняття його людським оком (яскравості) є люмен (лм). Світловий потік в 1 лм білого світу рівний  $4,6 \cdot 10^{-3}$  Вт (або 1Вт=217 лм).

## Лабораторна робота 30

### Дослідження прямого перетворення сонячної енергії в електричну

**Освітленість** – величина, рівна відношенню світлового потоку, падаючого на поверхню, до площі цієї поверхні.

**Мета роботи:** вивчити принцип перетворення сонячної енергії в електричну і досліджувати основні технічні характеристики фотоелектричної батареї.

Освітленість вимірюється в люксах (лк).  $1 \text{ лк} = 1 \text{ лм/м}^2$ . Для білого світу  $1 \text{ лк} = 4,6 \cdot 10^{-3} \text{ Вт/м}^2$  (або  $1 \text{ Вт/м}^2 = 217 \text{ лк}$ ).

Прилади, призначені для вимірювання освітленості, називаються люксметрами.

Таблиця 5.1

#### Освітленість, що створюється різними джерелами

Джерела	Освітленість, лк	Освітленість, Вт/м <sup>2</sup>
Сонячне світло опівдні (середні широти)	100000	460
Сонячне світло взимку	10000	46
Хмарне небо літом	5000-20000	23-92
Хмарне небо взимку	1000-2000	4,6-9,2
Розсіяне світло в світлій кімнаті (поблизу вікна)	100	0,46
Світильники, які створюють необхідну для читання освітленість	30-50	0,14-0,23
Повний Місяць, що опромінює поверхню Землі	0,2	0,9210 <sup>-3</sup>

У зв'язку з великим потенціалом сонячної енергії надзвичайно принадним є максимально можливе безпосереднє використання її для потреб людей.

При цьому найоптимальнішим представляється пряме перетворення сонячної енергії в найбільш поширену у використанні електричну енергію.

Це стає можливим при використанні такого фізичного явища, як фотоелектричний ефект.

**Фотоелектричний ефект** називаються електричні явища, що відбуваються при освітленні речовини світлом, а саме: вихід електронів з металів (*фотоелектрична емісія або зовнішній фотоелектричний ефект*), переміщення зарядів через кордон розділу напівпровідників з різними типами провідності (p-n) (*внутрішній фотоелектричний ефект*), зміна електричної провідності (*фотопровідність*).

При освітленні межі розділу напівпровідників з різними типами провідності (p-n) між ними встановлюється різниця потенціалів (фото ЕРС). Це явище називається *внутрішнім фотоелектричним ефектом*, і на його використанні засновано створення фотоелектричних перетворювачів енергії (сонячних елементів і батарей).

Найбільш поширеним напівпровідником, використовуваним для створення сонячних елементів, є кремній.

Сонячні елементи характеризуються коефіцієнтом перетворення сонячної енергії в електричну, який є відношенням падаючого на елемент потоку випромінювання до максимальної потужності тій, що виробляється ним, електричної енергії. Кремнієві сонячні елементи мають коефіцієнт перетворення 10-15 % (тобто при освітленості  $1 \text{ кВт/м}^2$  виробляють електричну потужність  $1-1,5 \text{ Вт}$ ) при створюваній різниці потенціалів близько  $1 \text{ В}$ .

Типова структура сонячного елемента з р-п переходом зображена на рис.5.1 і включає: 1 – шар напівпровідника (товщиною  $0,2-1,0 \text{ мкм}$ ) з n-провідністю; 2 – шар напівпровідника (товщиною  $250-400 \text{ мкм}$ ) з р-провідністю; 3 – додатковий потенційний бар'єр (товщиною  $0,2 \text{ мкм}$ ); 4 – металевий контакт з тильного боку; 5 – сполучний провідник з лицьовою поверхнею попереднього елемента; 6 – противідбивне покриття; 7 – лицьовий контакт; 8 – сполучний провідник до тильного контакту наступного елемента. Характерний розмір сонячного елемента  $10 \text{ див}$ . рис.5.1.

Сонячні елементи послідовно з'єднуються в сонячні модулі, які у свою чергу паралельно з'єднуються в сонячні батареї як зображено на рис. 5.2.

У 1958 році вперше сонячні батареї були використані в США для енергозабезпечення штучного супутника Землі Vanguard 1. У подальшому вони стали невід'ємною частиною космічних апаратів.

Широко відомі мікрокалькулятори, годинник, радіоприймачі і багато інших електронних апаратів, що працюють на сонячних батареях.

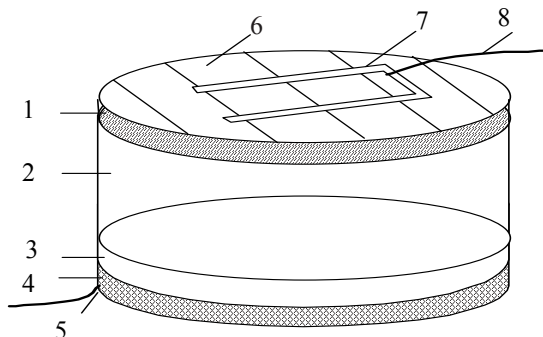


Рис. 5.1. Структура сонячного елемента

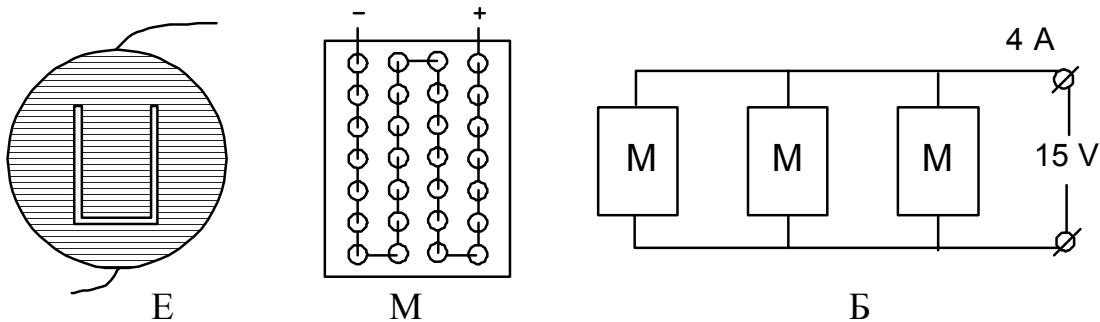


Рис. 5.2. Е – сонячний елемент; М – сонячний модуль;  
Б – сонячна батарея

Основні компоненти сонячної енергетичної установки зображені на рис. 5.3 і включають: Б – сонячну батарею з приладами контролю і управління; А – акумуляторну батарею; І – інвертор для перетворення постійного струму сонячної батареї в змінний струм промислових параметрів, споживаний більшістю електричних пристроїв.

Не дивлячись на нерівномірність добового потоку сонячного випромінювання і його відсутність в нічний час, акумуляторна батарея, накопичуючи те, що виробляється сонячною батареєю електрика, дозволяє забезпечити безперервну роботу сонячної енергетичної установки.

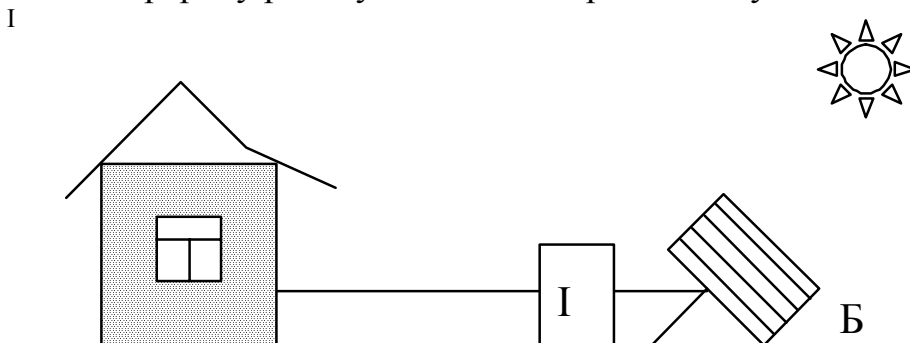


Рис. 5.3. Сонячна енергетична установка

#### Експериментальна установка

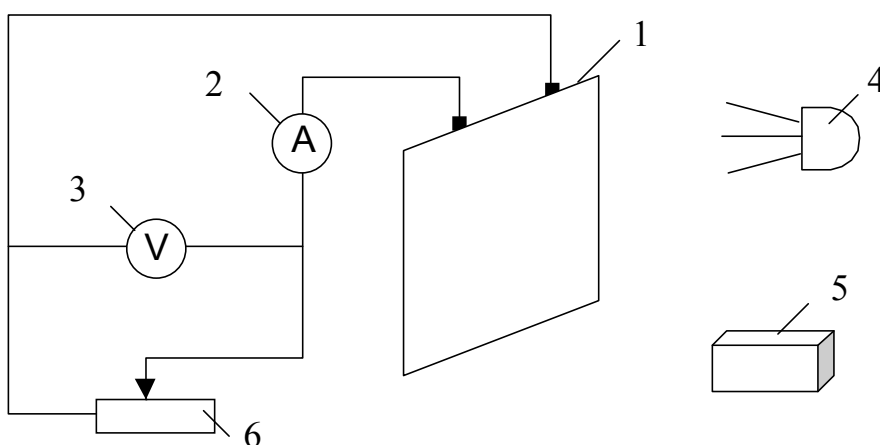


Рис. 5.4. Схема експериментальної установки

Експериментальна установка (рис. 5.4) включає: 1 – сонячний модуль, що складається з 36-ти (9x4) сонячних елементів; 2 – амперметр і 3 – вольтметр для визначення напруги і сили струму, що виробляються сонячним модулем; 4 – джерело світла, що імітує сонячне випромінювання; 5 – люксометр для визначення освітленості поверхні сонячного модуля; 6 – реостат, що є регульованим навантаженням в електричному ланцюзі.

#### Порядок виконання роботи

- а) Дослідження характеристик холостого ходу сонячного елемента
1. Упевнитися, що навантаження на сонячний модуль від'єднане.

2. Встановити джерело світла на пряме випромінювання на поверхню сонячного модуля (нульова відмітка на лімбі джерела).

3. Включити джерело світла.

4. Люксометром зміряти освітленість  $E$  в центрі і в чотирьох крайніх точках поверхні ( $E1, E2, E3, E4$ ) сонячного модуля і обчислити її середнє значення ( $E_{cp}$ ).

5. За свідченнями вольтметра визначити, що виробляється сонячним елементом ЕРС.

6. Виконати аналогічні вимірювання при косому падінні випромінювання на поверхню модуля, повертаючи джерело світла на 10, 20, 30, 40, 50 градусів по лімбу.

7. Обчислити щільність потоку випромінювання  $W$  (енергетичну освітленість), використовуючи співвідношення між  $лк$  і  $Вт/м^2$  для білого світла,  $W = 4,610 \cdot 10^{-3} \cdot E_{cp}$ .

8. Обчислити ЕРС, що виробляється одним сонячним елементом ЕРС-1, розділивши ЕРС на число елементів 36.

9. Всі результати занести до табл. 5.2.

Таблиця 5.2

**Результати вимірювань і обчислень**

Кут падіння випромінювання, град	Ец лк	Е1 лк	Е2 лк	Е3 лк	Е4 лк	Еср лк	ЕРС У	W Вт/м2	ЕРС-1 У
0									
10									
20									
30									
40									
50									

10. Побудувати графік залежності ЕРС сонячного модуля від щільності потоку випромінювання, падаючого на його поверхню  $W$ .

б) Визначення вольт-амперної характеристики сонячного модуля

1. Підключити навантаження (реостат) до ланцюга сонячного елемента.

2. Встановити джерело світла на пряме випромінювання на поверхню сонячного модуля (нульова відмітка на лімбі джерела).

3. Включити джерело світла. За свідченнями вольтметра визначити напругу в ланцюзі  $U$ . За свідченнями амперметра визначити струм в ланцюзі  $I$ .

4. Переміщаючи рухомий контакт реостата, змінити опір навантаження в ланцюзі і виконати вимірювання  $U$  і  $I$ . Провести вимірювання 6 разів в межах від мінімального до максимального значення опору навантаження.

5. Для кожного вимірювання обчислити електричну потужність в ланцюзі  $W=IU$ .

6. Всі дані занести в таблицю 5.2

Таблиця 5.3

Щільність потоку випромінювання, Вт/м <sup>2</sup>	Номер вимірювання	Напруга U, В	Струм I, А	Потужність W, Вт

9. Побудувати вольт-амперну характеристику (графік залежності  $I$  від  $U$ ) сонячного модуля при даній щільності потоку випромінювання, значення якої узяти з попередньої серії вимірювань.

10. Відзначити найбільше значення потужності, що виробляється сонячним модулем.

## **ТЕМА 10. ВИКОРИСТАННЯ РОСЛИН І ВОДРОСТЕЙ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ЗАБРУДНЕНИХ ВОД І ГРУНТІВ**

### **Гідроботанічні майданчики**

Методи, засновані на природних процесах самоочищення водойм, реалізуються в таких інженерних спорудах, як біологічні ставки-відстійники різних типів і гідроботанічні майданчики (ГБМ). Продуктивність очисних споруд варіюється від декількох десятків до декількох сотень літрів в секунду.

На відміну від локальних очисних споруд, в гідроботанічних майданчиках створюються умови для природних біохімічних процесів, пов'язаних з функціонуванням вищих водних рослин (ВВР).

До водних рослин, що володіють здібностями переробляти забруднюючі речовини, відносять ряску, водяний шпинат, рогіз, очерет, многокоренник, ейхорнії. Всі ці рослини можуть переживати значні коливання водного рівня і беруть участь у процесах біологічного очищення. Високою ефективністю відрізняється підгрупа рослин, що не вкорінюються, здатних плавати на поверхні води і швидко нарощувати кореневу і вегетативну масу.

Стічна вода, що пройшла очищення в гідроботанічних ставках, звільняється від значної кількості забруднюючих речовин – суспензій, нафтопродуктів, важких металів. Вміст шкідливих речовин досягає таких показників:

- завислі речовини - до 10-20 мг/л;
- нафтопродукти - до 0,3 - 0,5 мг/л;
- БПК<sub>20</sub> до 5-6 мг/л.

Час очищення стічної води в гідроботанічних майданчиках перевищує час очистки на локальних очисних спорудах не менш, ніж у 6 разів. Збільшення тривалості очищення в природних умовах має позитивно впливати на глибину очищення. Відкрита водойма, яким є ГБМ, піддається впливу природних і кліматичних факторів – сонячному освітленню, аерації, температурі,



інтенсивній роботі бактерій-редуцентів. За рахунок цього фізичні і хімічні реакції розкладання нафтопродуктів йдуть більш активно.

ГБМ як спосіб біологічного очищення стічних вод широко використовуються у всьому світі. У нашій країні також накопичена практика використання подібних споруд.

Недолік методу – недостатня опрацьованість розрахунків ГБМ для очищення поверхневих стоків.

*Переваги методу очищення в гідроботанічні ставках:*

- можливість використовувати під цілі невеликі природні водойми;
- можна вдосконалити очистку, додаючи фільтруючі блоки;
- здатність затримувати аварійні розливи нафтопродуктів;
- зведення споруд не вимагає приміщень або використання спецтехніки;
- вартість ГБМ менше вартості аналогічного ЛОС в 5-6 разів;
- періодичність очищення мулових відкладень – раз в 10 років; для локальних очисних споруд (ЛОС) період очищення в 20-30 разів частіше;
- не споживають електроенергію, не вимагають утримання постійного обслуговуючого персоналу.

Відношення середньої величини капіталовкладень до одиниці об'єму очищених стоків показує, що питома економічна ефективність ГБМ в 4 рази перевищує показник для ЛОС.

Гідроботанічні ставки включає наступні етапи очищення: відстійник, коалесцируючі поверхні (рослини), шунгітовий фільтр, бон з нафтосорбуючим матеріалом.

Шунгітовий фільтр виконується з габіонів у вигляді трьох паралельно опущених касет. Укоси ставка і канати зміцнюються габіонами для захисту від руйнування і оповзання берегів.

Матеріал шунгіт відрізняє висока механічна міцність, сорбційні, бактерицидні та каталітичні (відновні) властивості. Це дозволяє використовувати його як один з етапів фільтрування нафтовмісних стоків.

Нафтовловлювачі для плівкової нафти зазвичай встановлюються у сполучній канаві між ставками. За конструкцією вони являють собою або нафтовловлюючі криниці, або фільтруючі касети, або сорбційний фільтр з фіброіла. У міру заростання ставу рослинами, основну роль у затриманні і розкладанні нафтопродуктів будуть виконувати вони.

Проводилися спеціальні дослідження, присвячені зміні концентрацій нафтопродуктів під час дощу на вході і на виході гідроботанічні ставків. Як виявилось, концентрації нафтопродуктів починають знижуватися вже в процесі руху води по кюветах на вході в очисні споруди. Вода, що потрапляє в ГБМ з укосів, насипів та інших територій, розбавляє концентровані стоки, і теж сприяє зменшенню вмісту забруднюючих речовин.

*Умови для роботи гідроботанічних майданчиків*

Для ефективної роботи гідроботанічних майданчиків необхідно дотримуватися наступних умов:

Відповідна температура води для протікання біохімічних процесів –22 °С. Можливо підтримку температури на рівні не нижче 19 °С. Можливе короткострокове зниження температури води до 16 °С, але це небажано.

Температура повітря повинна бути не нижче 18 °С. Якщо температура опускається нижче, це може викликати уповільнення життєдіяльності мікроорганізмів.

Оптимальною для більшої частини мікроорганізмів вважається температура повітря в діапазоні 22-27 °С.

Температура понад 40 °С є верхньою межею, за якої відбуваються незворотні реакції білків.

Оптимальні значення БПК і ХПК, достатню кількість поживних речовин для рослин і субстрату мікроорганізмів.

Оптимальна природна освітленість. За нестачею освітлення можлива установка штучних ламп.

Глибина ГБМ не більше 0,75м.

Обмеження за змістом забруднюючих речовин:

- азот амонійний – не більше 120 мг/л;
- фосфати - не більше 50 мг/л;
- залізо – не більше 25 мг/л;
- ПАР – не більше 15 мг/л;
- сульфати - не більше 160 мг/л;
- нафтопродукти - не більше 60 мг/л;
- феноли – не більше 350 мг/л;
- БПК – не більше 1000 мг музичного комплексу O<sub>2</sub>/л;
- ГПК – не більше 2200 мг музичного комплексу O<sub>2</sub>/л.

## **ТЕМА 11. ВІДНОВЛЕННЯ ОЗЕРНИХ ЕКОСИСТЕМ**

*Антропогенний вплив на водні екосистеми.*

Органічне забруднення. Токсичне забруднення та його наслідки для водних екосистем. Радіонуклідне забруднення водних екосистем та його дія на гідро біонтів.

Сучасні екосистеми гідросфери майже повсюдно знаходяться під значним антропогенним впливом. Його джерелами є стічні води різних галузей промисловості, сільського і комунального господарств, військові комплекси з високим ступенем технічного оснащення, наземний, водний і повітряний транспорт, нафто- і газопроводи та багато інших виробництв – забрудників водного середовища. Антропогенному впливу підпадають річкові системи внаслідок гідротехнічного будівництва, пов'язаного з регулюванням водного стоку. В результаті такого вторгнення в природні водотоки змінюється сам тип водної екосистеми. З лотичних вони перетворюються в лентичні. Особливу небезпеку для водних екосистем несуть теплові і особливо атомні електростанції. При безаварійній роботі вони являються джерелом теплового забруднення гідросфери. При аварійних ситуаціях їх негативний вплив на

навколишнє середовище може набувати глобальних масштабів. Прикладом цього є аварія на Чорнобильській атомній електростанції (1986 р.), коли радіонуклідне зараження охопило великі території України, Республіки Білорусь, Російської Федерації та інших країн Європи. В зону ядерного впливу потрапили водні екосистеми, в яких радіонукліди включаються в цикл вода – донні відклади – біота, несучи постійну загрозу її біофонду.

### **Органічне забруднення**

За походженням органічні речовини поділяються на алохтонні, які надходять з площі водозбору, та автохтонні, які утворюються в самій водній екосистемі. Найбільшу масу органічної речовини створюють фітопланктон і макрофіти в процесі фотосинтезу. Значну частину автохтонної органічної речовини становить детрит, або мертва органічна речовина, яка утворюється внаслідок розпаду залишків організмів рослинного і тваринного походження і містить також 4–5 % бактерій. До розчиненої автохтонної органічної речовини належать також продукти життєдіяльності водяних організмів, зокрема, амінокислоти, органічні кислоти, сечовина та інші. З водозбірної площі можуть надходити речовини, які вимиваються з лісового перегною, торф'яників, заболочених місць, чорноземних ґрунтів тощо – гумінові і фульвокислоти, складні вуглеводи, вільні амінокислоти, аміни, білковоподібні речовини. Органічні речовини природних вод – це складні високомолекулярні сполуки типу білків, полісахаридів, ненасичених жирних кислот, амінів та інших, які знаходяться в розчиненому, завислому і диспергованому станах. Більшість з них є субстратом для масового розвитку бактеріального населення водних екосистем.

Найважливішим внутрішньоводоймним процесом утворення органічної речовини, з яким пов'язано і самозабруднення водойм, є фотосинтез фітопланктону, фітобентосу та вищої водяної рослинності. Ступінь забруднення водних об'єктів органічними речовинами визначає їх сапробність (*sapros* – гниючий), а розділ гідроекології, що вивчає такі забруднення, називається сапробіологія. Водяні організми різних систематичних груп виявляють різну чутливість до вмісту у воді органічних речовин і продуктів їх розкладу. Можливості пристосування гідробіонтів до існування у середовищі з різним рівнем органічного забруднення зумовлюється комплексом фізіолого-біохімічних процесів, які постійно протікають у їх організмі. Гідробіонти, які живуть у забруднених органічними речовинами водах і приймають участь у процесах їх розкладу, називаються сапробіонтами, або сапротрофами. Вони є важливим ланцюгом у біологічному кругообігу речовини і енергії.

### *Самозабруднення і самоочищення водойм*

Під самозабрудненням розуміють надмірний рівень продукції органічної речовини, яка викликає погіршення якості води в водному об'єкті. Це найчастіше пов'язане з масовим розвитком фітопланктону до рівня “цвітіння” води. Самозабруднення спричиняється самою біомасою водоростей та продуктами її деструкції. Розпад біомаси у таких випадках призводить до виходу у воду великої кількості органічних, мінеральних і токсичних речовин,

які істотно погіршують якість води за значною кількістю показників. Серед токсичних речовин виявляються поліпептиди, феноли, індол, скатол, сірководень тощо. На відміну від алохтонного надходження забруднень, таке явище отримало назву біологічного (вторинного) забруднення, або самозабруднення. Воно може відбуватись і за рахунок десорбції органічних і мінеральних речовин, накопичених у донних відкладах. Такі процеси більш інтенсивно протікають при дефіциті кисню і підкисленні водного середовища в анаеробних умовах.

У нормально функціонуючих водних екосистемах перебіг процесів продукування, засвоєння та деструкції автохтонних речовин за участю гідробіонтів збалансований. Завдяки цьому підтримується певний рівень якості води. Процес розкладу і виведення забрудників з колообігу водного середовища внаслідок взаємодії механічних, фізичних, хімічних, фізико-хімічних і біологічних факторів отримав назву самоочищення вод.

Механічне самоочищення – це процеси перетирання, механічного подрібнення окремих частинок, фільтрації забруднених вод через піщані ґрунти. Фізичні процеси самоочищення включають осадження (седиментація) забруднюючих речовин під дією сил тяжіння.

Хімічне і фізико-хімічне самоочищення пов'язане з утворенням комплексних сполук, реакціями між окремими речовинами, сорбцією завислих частинок мулом, глиною, піском та іншими донними відкладами, окиснення нестійких речовин розчиненим киснем (небіотичного походження). Біологічне самоочищення вод включає такі складові: біофільтрацію, мінералізацію органічних речовин, фотосинтетичну аерацію – реаерацію, біоаккумуляцію та біодетоксикацію.

Біофільтрацію здійснюють організми-фільтратори – головним чином двостулкові молюски та планктонні ракоподібні. Пропускаючи через своє тіло велику кількість води і очищаючи її від завислих частинок, вони використовують органічні та деякі мінеральні речовини як корм, а решту виводять у воду у вигляді слизових грудок, що осідають на дно. Завдяки цьому відбувається освітлення води та зменшується концентрація забрудників у ній.

*Евтрофікація – причини і наслідки для водних екосистем*

Евтрофікація полягає в збагаченні води біогенними елементами, особливо азотом і фосфором, внаслідок чого зростає первинна продукція органічної речовини за рахунок фотосинтезу водоростей і вищих водяних рослин.

Причиною прискореної евтрофікації може стати зарегулювання річкового стоку, коли велика кількість біогенних елементів вимивається з затоплених ґрунтів. За джерелами надходження біогенів можна виділити три типи антропогенної евтрофікації: урбогенну, що виникає внаслідок скидання неочищених від сполук фосфору та азоту міських стічних вод; агрогенну – за рахунок вимивання ґрунтовими водами та дощових зливів мінеральних добрив з сільськогосподарських угідь; зоогенну, що виникає внаслідок забруднення водойм стоками тваринницьких ферм або при багаторазовому водопої та купанні великих черід худоби.

Основними ознаками евтрофікації водойм є збільшення біомаси фітопланктону або інших автотрофних організмів (фітомікробентос, нитчасті водорості), масовий розвиток водоростей до рівня “цвітіння” води, зменшення концентрації розчиненого кисню на заключному етапі вегетації – при масовому відмиранні водоростей та інших організмів. В залежності від кількості біогенів, що надходять у водну екосистему, може прискорюватись перехід оліготрофних водойм до мезотрофних і евтрофних. У лентичних екосистемах евтрофікація призводить до масового розвитку водоростей. Між здатністю водоростей до накопичення біогенних елементів і їх потенційними можливостями як до масового розвитку існує прямий корелятивний зв’язок, і тому із зростанням вмісту цих елементів в екосистемі створюються сприятливі умови для масового розвитку фітопланктону, утворення первинної продукції органічної речовини і збагачення водного середовища киснем.

Антропогенна евтрофікація охоплює все більшу кількість водних об’єктів, розташованих на різних континентах Землі. Її наслідком є посилення “цвітіння” води або масовий розвиток нитчастих (бентосних) водоростей в озерах і водосховищах. Для попередження евтрофікації найважливішими заходами є обмеження забруднення водойм біогенними елементами шляхом очищення міських стічних вод, створення водоохоронних зон по берегах річок, озер і водосховищ.

Перспективним напрямком зниження евтрофікації вод і захисту їх від забруднення має бути фітомеліорація, тобто культивування вищої водної рослинності в прибережних зонах з метою перехоплення біогенних елементів, які надходять з полів, з тваринницьких ферм та населених пунктів.

*Токсичне забруднення та його наслідки для водних екосистем. Джерела токсичного забруднення.*

Одним з найбільш тяжких проявів антропогенного впливу на водні екосистеми та гідросферу в цілому є хімічне забруднення, яке може призводити до отруєння водного середовища та його живого населення. Серед хімічних речовин, які надходять у водойми із стічними водами (токсикогенним стоком) та атмосферними опадами, більша частина отруйна для гідробіонтів. Речовини, які проявляють таку дію називаються токсикантами, а сам процес надходження отруйних речовин у водні об’єкти називається токсифікацією.

Токсичні речовини бувають природного походження і такі, що синтезовані людиною. Останні мають назву ксенобіотики. Стічні води промислових підприємств, як правило, містять цілий комплекс токсикантів різної хімічної природи (див. табл.). Їх вплив на водні екосистеми має комплексний характер, а роль окремих компонентів не завжди можна виділити і оцінити.

**Основні токсичні компоненти стічних вод різних виробництв**

№ п/п	Галузі народного господарства	Основні токсичні компоненти стічних вод
1.	Чорна металургія	Важкі метали, сполуки заліза, ціаніди, роданіди
2.	Кольорова металургія	Важкі метали (мідь, цинк, свинець, олово), хром, молібден, ванадій та інші
3.	Вугільна промисловість	Високомінералізовані шахтні води
4.	Гірничо-рудна промисловість	Важкі та кольорові метали
5.	Нафтова і нафтохімічна промисловість	Нафта і нафтопродукти (гас, бензин, мазут, вуглеводні)
6.	Газова і коксохімічна промисловість	Феноли
7.	Атомна енергетика	Важкі метали, радіонукліди
8.	Цукрова промисловість	Сапоніни, хлорорганічні пестициди
9.	Водний транспорт	Нафта і нафтопродукти
10.	Текстильна промисловість	Барвники, детергенти
11.	Целюлозо-паперова промисловість	Феноли, крезолі, ортокрезолі, меркаптани, лігнін
12.	Хімічна промисловість	Луги, кислоти, солі, пестициди, детергенти, важкі метали, поверхнево-активні речовини, продукти органічного синтезу
13.	Військово-промисловий комплекс	Важкі метали, радіонукліди, компоненти ракетного палива, нафтопродукти
14.	Медична промисловість	Антибіотики, фармацевтичні препарати, бактеріальне забруднення
15.	Міське комунальне господарство	Фосфати, детергенти, органічні сполуки, солі, луги, кислоти
16.	Сільське господарство	Інсектициди, гербіциди, дефоліанти, фосфати, нітрати, сечовина, гній

Основні напрямки практичної діяльності в галузі охорони вод від токсичних забруднень – це: очистка стічних вод, розробка стандартів і нормативів допустимого забруднення і допустимих скидів. В цьому аспекті особливого значення набувають так звані гранично допустимі концентрації токсичних речовин (ГДК), які розробляються екотоксикологами, гідроекологами та гігієністами.

Під гранично допустимими концентраціями маються на увазі такі концентрації хімічних речовин, які не завдають шкоди здоров'ю людини при використанні води для питних цілей (санітарно-гігієнічні ГДК), нормальній життєдіяльності риб і кормових організмів (рибогосподарські ГДК), не порушують стан водних екосистем (екологічні нормативи – ЕН, або екологічні стандарти якості вод). В практиці охорони вод ГДК для складних сумішей встановлюють на основі досить простої формули:  $\dots < 1$ , де  $C_1, C_2, C_3 \dots C_n$  –

концентрація речовини; ГДК<sub>1</sub>, ГДК<sub>2</sub>, ГДК<sub>3</sub> ... ГДК<sub>n</sub> – гранично-допустимі концентрації окремих речовин. Ця формула не враховує ні взаємодії між речовинами, ні можливості реагування їх між собою з утворенням більш або менш токсичних речовин, ні характеру їх поєднаної дії на живі організми, які можуть бути антагоністами або синергістами по відношенню до організму гідробіонтів.

#### *Радіонуклідне забруднення водних екосистем та його дія на гідробіонтів*

Серед фізичних факторів, що впливають на життєдіяльність організмів у водних екосистемах, особливо важливу роль відіграють іонізуючі випромінювання.

Це – випромінювання, взаємодія яких з речовиною призводить до іонізації її атомів та молекул, тобто перетворення їх з електрично нейтральних частинок в позитивно або негативно заряджені іони. До іонізуючих випромінювань належать заряджені частинки (альфа-частинки, електрони, позитрони, протони та інші), нейтральні частинки, а також електромагнітні випромінювання високих енергій, які іонізують атоми і молекули речовини. Одиницею радіоактивності є Бекерель (Бк): 1Бк = 1 розпад/с. Для вимірів радіоактивності інколи використовують одиницю Кюрі (Кі), що відповідає радіоактивності 1г <sup>226</sup>Ra: 1 Кі = 3,7·10<sup>10</sup> розпадів/с. Кількість енергії, поглинута одиницею маси опроміненої речовини, прийнято називати поглинутою дозою. Одиницею поглинутої дози є Грей (Гр): 1Гр = 1Дж/кг. Час, протягом якого радіоактивна речовина розпадається наполовину, називається періодом піврозпаду (T<sub>1/2</sub>). Величина T<sub>1/2</sub> може становити від часток секунди до багатьох мільярдів років.

#### *Природна радіоактивність водних об'єктів*

Протягом всього часу еволюції біосфери на життєві процеси постійно і безперервно діють іонізуючі випромінювання. Гідробіонти також зазнають дії іонізуючих випромінювань. Основну частину опромінення вони отримують від природних джерел радіації, до яких належать космічне випромінювання і природні радіоактивні ізотопи, або радіонукліди, що містяться в земній корі, атмосфері, гідросфері та біоті.

Внаслідок природних процесів вилуговування, вивітрювання та ерозії гірських порід, а також діяльності людини, у біосфері відбувається безперервна міграція природних радіонуклідів. Видобуток і переробка десятків мільярдів тон різних гірських порід призводить до викиду у біосферу практично всіх відомих природних радіонуклідів. Найвищі рівні радіоактивності у компонентах біосфери відзначаються в районах розташування уранових підприємств і родовищ радіоактивних руд – так званих уранових і торієвих провінцій. Істотним джерелом надходження у біосферу природних радіонуклідів є природне органічне паливо, що використовується транспортом, енергетичними установками і тепловими електростанціями.

Використання мінеральних добрив у сільському господарстві супроводжується накопиченням природних радіонуклідів в орних ґрунтах, рослинах і водоймах. У природі виявлено близько 300 природних радіонуклідів.

Найбільш поширені в земній корі та гідросфері  $^{40}\text{K}$ ,  $^{87}\text{Rb}$ , деякі елементи рядів урану (U) і торію (Th), які формують основну частку природної радіоактивності. Внаслідок послідовних радіоактивних розпадів уран і торій перетворюються у стабільний свинець. Висока міграційна здатність радію та радону створює навколо уранових родовищ ареали підвищеної радіоактивності, так звані радіоактивні аномалії, у яких вміст радіонуклідів у порівнянні з іншими територіями у сотні і тисячі разів більший. У мікрокількостях радій міститься у природних водах повсюдно.

Радіоактивні води, що відзначаються високим вмістом природних радіоактивних елементів радію та радону (радієві, радонові тощо), знайшли широке лікувальне застосування в бальнеологічній практиці. Продуктами розпаду  $^{222}\text{Rn}$  є особливо токсичні радіонукліди: свинець –  $^{210}\text{Pb}$  та полоній –  $^{210}\text{Po}$ , які виділяються при спалюванні вугілля та нафтопродуктів, з вихлопними газами розсіюються в атмосфері, а потім з опадами частково повертаються на землю, у водні об'єкти. В істотних кількостях зустрічається в районах уранових родовищ, у приземному повітрі уранових рудників, у воді нафтових скважин та вугіллі.

Природна радіоактивність річкових, озерних та інших вод в основному визначається  $^{40}\text{K}$ . Концентрація радіонуклідів у річковій воді залежить від кліматичних умов, гідрохімічного складу води, типу гірських порід, через які протікають ріки. Наприклад, води рік на Півночі України містять уран в кількості  $(0,02-0,2) \cdot 10^{-6} \text{ г/дм}^3$  ( $4,93 \cdot 10^{-4} \text{ Бк/дм}^3$ ), тоді як ріки Середньої Азії – до  $50 \cdot 10^{-6} \text{ г/дм}^3$  ( $1,23 \text{ Бк/дм}^3$ ). Найвища радіоактивність у водах уранових і торієвих родовищ, а також мінеральних джерел. Вміст природних радіонуклідів у таких водах досягає: урану –  $120 \cdot 10^{-6} \text{ г/дм}^3$  ( $2,96 \text{ Бк/дм}^3$ ), торію –  $50 \cdot 10^{-6} \text{ г/дм}^3$  ( $0,40 \text{ Бк/дм}^3$ ), радію –  $25,9 \cdot 10^3 \text{ Бк/дм}^3$ , радону –  $9,62 \text{ Бк/дм}^3$ . Високі концентрації природних радіонуклідів характерні також для ґрунтових вод. У гірських породах вода збагачується мінеральними речовинами та радіонуклідами.

Отже, природна радіоактивність вод перебуває у прямій залежності від їхньої мінералізації та радіоактивності порід, які вони омивають. Забруднення водних об'єктів штучними радіонуклідами. Починаючи з 40-х років ХХ століття, внаслідок випробування і застосування у військових цілях ядерної зброї, розвитку атомної енергетики, широкого використання джерел іонізуючого випромінювання у медицині, техніці та інших сферах діяльності людини почало прогресувати забруднення довкілля, в тому числі гідросфери, штучними радіонуклідами.

Станом на кінець 2009 р. в Україні експлуатувалися п'ять атомних електростанцій. Атомні електростанції використовують як джерела водопостачання: Запорізька – Каховське водосховище, Рівненська – р. Стир (притока р. Прип'яті), Хмельницька – р. Горинь (притока р. Прип'яті), Чорнобильська (зупинена в 2000 р.) – р. Прип'ять, Південно-Українська – р. Південний Буг. У басейні р. Десни на території України працюють Курська і Смоленська АЕС. Курська розміщена на притоці Десни р. Сейм.



Водозабезпечення Смоленської АЕС здійснюється з водосховища, побудованого шляхом перекриття верхньої частини русла р. Десни дамбою. Розвинута атомна енергетика і в країнах басейну р. Дунай: у Болгарії, Угорщині, Німеччині, що загострює радіоекологічні проблеми нижньої ділянки цієї ріки в межах України.

У складі викидів та скидів АЕС містяться продукти поділу ядерного палива. До їх числа входять інертні радіоактивні гази (ізотопи криптону, ксенону та ін.),  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  та ін. У складі забруднень значну питому вагу становлять продукти корозії матеріалів активної зони реактора:  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{55}\text{Fe}$ ,  $^{65}\text{Zn}$  та ін.

#### *Дія радіонуклідного забруднення на гідробіонтів*

Природні та штучні радіонукліди, що містяться у водних екосистемах, генерують іонізуюче випромінювання. Дія іонізуючого випромінювання на речовини та організми призводить до іонізації – відриву електронів від атомів. Виникнення іонів атомів і молекул супроводжується індукцією хімічних та біологічних реакцій у клітинах, тканинах і органах гідробіонтів.

Іонізуючі випромінювання здатні розривати будь-які хімічні зв'язки та індукувати повільні хімічні реакції з великими іонними виходами. При цьому в процеси розвитку радіаційного ураження залучається величезна кількість макромолекул, які безпосередньо не зачеплені опроміненням. Це значно посилює біологічну дію опромінення і підвищує загальний рівень якісних і кількісних руйнувань в клітинах і організмах.

Відсутність або принаймні недостатність процесів, відповідальних за відновлення пошкоджених структур, призводить до виникнення різних за глибиною, масштабами і накопиченням у часі пошкоджень біологічних структур на різних рівнях організації.

Променеve ураження гідробіонтів здійснюється у кілька умовних етапів і тісно пов'язане з рівнями біологічної організації. I рівень – атомно-молекулярний: відбуваються надзвичайно швидкоплинні (від 10–16 до 1 секунди) фізичні процеси поглинання енергії елементарними структурами (хромосоми, мембрани та ін.) і молекулами клітин, що супроводжується утворенням збуджених, іонізованих молекул і вільних радикалів. II рівень – радіаційно-хімічних процесів (секунди–хвилини): відбуваються радикальні реакції, ланцюгові процеси, пряма і непряма дія радіації та первинна зміна надмолекулярних клітинних структур. III рівень – біохімічної клітинної організації (хвилини–години): змінюється енергетика, опосередковано діє радіація на ДНК і порушується координація дії ферментних систем. IV рівень – цілісних організмів (години–місяці): прояви аномалій в рості та розвитку, морфологічні зміни окремих органів і організму в цілому, порушення різних фізіологічних та біохімічних реакцій, генетичні порушення, скорочення життя, загибель. V рівень – популяцій (місяці–десятиліття): порушення структурно-функціональних і фенотипічних показників популяцій. VI рівень – ценозів (роки–століття): порушення трофічних взаємовідносин, посилення селективних процесів, зниження видового різноманіття і дестабілізація популяційно-

генетичної структури гідробіоценозів. Під дією іонізуючого випромінювання у гідробіонтів виникають радіаційна стимуляція, порушення різних фізіологічних і біохімічних реакцій, найрізноманітніші аномалії росту та розвитку, морфологічні зміни окремих органів і організму в цілому, спадкові зміни, скорочення тривалості життя і, нарешті, загибель. Зміни в біосистемах під впливом іонізуючого випромінювання отримали назву радіобіологічних ефектів.

Таким чином, радіонуклідне забруднення водойм супроводжується як прямим ураженням біосистем внаслідок дії іонізуючого випромінювання, так і опосередковано – через порушення збалансованих структурно-метаболических зв'язків у гідробіоценозах. Якщо ураження гідробіонтів на атомно-молекулярному рівні проявляються протягом часток секунди, то на рівні популяцій – через роки – століття.

Можливість проявлення віддалених у часі наслідків зобов'язує сучасне суспільство відноситись з великою відповідальністю до проблем охорони гідросфери Землі від радіонуклідного забруднення. При цьому необхідно мати на увазі, що за умов складного поєднання діючих природних та антропогенних факторів у гідробіонтів виникають зміни різного типу – від таких, що легко відновлюються, як, наприклад, інтенсивність фотосинтезу або дихання, до глибоких і незворотніх порушень у життєдіяльності найбільш стійких популяцій гідробіонтів, вимирання окремих видів і регресії гідробіоценозів. Якісні та кількісні зміни у водному середовищі завжди випереджають адаптаційні процеси гідробіонтів, які відбуваються з деяким запізненням. Час адаптації гідробіонтів залежить від сили діючих факторів, а також від метаболическої пластичності і здатності організмів пристосовуватись до змін, що відбуваються у водному середовищі. Короткочасна зміна інтенсивності фотосинтезу або дихання під впливом хімічного забруднення або дії температури на найбільш чутливі особини буде відповідати події першого рівня (компенсаційні зміни в метаболізмі найбільш чутливих особин). Численні фактори, зокрема специфічні токсиканти, спричиняють порівняно вузько спрямовану дію, як, наприклад, сполуки – інгібітори фотосинтезу, здатні викликати загибель фотосинтезуючих організмів. Загибель фотосинтезуючих організмів і втрата біологічної цінності водної екосистеми згідно наведеної шкали відповідають рівню події з оцінкою у десять балів, що відображає максимально можливі порушення.

Таким чином, біологічні системи водних об'єктів, що сформувалися в процесі багатоміліардної еволюції, зіткнулися з надзвичайно різноманітним антропогенним впливом, який особливо гостро проявляється у прогресуючому хімічному, тепловому та радіонуклідному забрудненні, що призводить до зниження видового різноманіття, спрощення трофічних ланцюгів і регресу гідробіоценозів.

*Відновлення екосистем.* Високі темпи господарського освоєння територій, у тому числі і Західного Донбасу, супроводжуються техногенною трансформацією природного середовища.

Комплекс негативних змін довкілля немає аналогів у вітчизняній практиці.

Дослідження українських вчених спрямовані на розробку принципів збереження, запобігання загибелі та відновлення природних, штучних та агрокосистем, а також лісових біогеоценозів в умовах техногенного впливу шахтних розробок. Теоретичною основою проведених ними досліджень стало вчення В. І. Вернадського про біосферу і ноосферу, концепція біогеоценозу В.М. Сукачова, лісотипологічні принципи і вчення про амфіценози О.Л. Бельгард.

Характерним для Західного Донбасу є розміщення запасів вугілля в долині р. Самари. Розробка цих запасів зумовлює підтоплення і заливання ґрунтовими водами поверхні з лісовими і сільськогосподарськими угіддями. На загальній площі затоплення, що складає біля 12 тис. га науковцями охарактеризована фактична та прогнозна динаміка порушень земель, зокрема лісового фонду. Щорічно у відвали надходить понад 4 млн. м<sup>3</sup> шахтних порід. У зв'язку з цим обґрунтовано використання шахтних порід для рекультивації просівших територій та в будівництві на території Західного Донбасу.

Обсяг вод, що скидаються у р. Самару на території Західного Донбасу, складає близько 30 млн. м<sup>3</sup>/рік, з яких 7 млн. м<sup>3</sup> – господарсько-побутові стоки. Середня мінералізація їх 4,1 г/л. Шахти Центрального Донбасу скидають у ріку Самару і її притоки (р. Бик і Вовча) 87 млн. м<sup>3</sup>/рік шахтних вод з мінералізацією 2,0- 6,0 г/л.

Шахтна вода, піднята на поверхню, надходять у відстійники шахтних вод для попереднього освітлення та знезараження рідким хлором. Після цього вода частково використовується на технічні потреби шахти, а основна кількість відводиться у штучні водосховища – відстійники для повного осадження і розведення дощовими і поталими водами. У результаті шахтного водовідливу з'являються нові техногенні області розвантаження, змінюється напрямок руху підземних вод, збільшується градієнт підземного стоку, порушується загальний баланс підземного і поверхневого стоку.

За даними вчених, шахтні води вугільних родовищ – це підземні води, що проникли в гірничі виробки і потім пройшли через водовідвідне господарство. Під впливом зовнішніх та внутрішніх факторів підземні води змінюють свій початковий склад, що позначається на концентрації сульфат-іонів і водню, при цьому утворюються кислі води. Крім метоморфізації у гірських виробках відбувається змішування вод поверхневих водоносних шарів з водами нижніх горизонтів, що приводить до збагачення шахтних вод хлоридами натрію. Чим глибше розташована виробка, тим сильніше позначається присутність хлоридних вод. У результаті цих процесів збільшується вміст у водах іонів SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> і Cl<sup>-</sup>, відповідно падає кількість гідрокарбонатів, а у цілому якісний склад природних вод погіршується.

Моніторингові дослідження 2004–2009 р. показали, що для хімічного складу шахтних вод Західного Донбасу характерний підвищений вміст окремих елементів: середній вміст кальцію становить 344 мг/л (при нормативі –

180 мг/л); магнію – 354 мг/л (ГДК – 40 мг/л); хлоридів 770 мг/л (ГДК – 300 мг/л); сульфатів – 657 мг/л (ГДК – 100 мг/л); заліза – 2,2 мг/л (ГДК-0,1 мг/л). Не вирішується також питання постійного підвищеного вмісту нафтопродуктів.

У результаті скидання високомінералізованих шахтних вод Західного Донбасу, негативного впливу зазнають зрошувані землі й акваторія Самарської затоки, яка має велике рибогосподарське значення. У долинах рік Донбасу і крупних балок у результаті осідання земної поверхні відбувається затоплення і підтоплення ґрунтовими і поверхневими водами, а також збільшуються (порівняно з положенням до порушень) площі земельних угідь, тимчасово затоплюваних у період проходження повені на ріках.

Серйозний вплив на зміну гідрогеологічних умов території чинять водосховища – накопичувачі шахтних вод. В даний час функціонує 34 ставка загальною площею 1438 га. Породи, що залягають у основі цих водосховищ, представлені суглинками потужністю від 8 до 25 м з коефіцієнтом фільтрації 1-3 м/добу. Ці території відносяться до незахищених від надходження забруднюючих речовин. Мінералізація вод у цих водосховищах 5,0 – 8,0 г/л. Загальний обсяг шахтних вод, що надходять у відстійники, складає 32 млн. м<sup>3</sup> на рік, а втрати при фільтрації можуть досягати 60% існуючого дебіту.

Внаслідок шахтного водовідливу спостерігається: скорочення підземного живлення річок і викиди в річкову мережу високомінералізованих шахтних вод; виснаження запасів підземних питних вод в межах дренажного впливу шахтного водовідливу; забруднення підземних вод при інфільтраційних втратах із ставків-відстійників; підтоплення території внаслідок осідання земної поверхні; вторинне засолення земель. У літній період мінералізація води р. Самари сягає 3,4 – 4,1 г/л, що в 6–8 разів перевищує мінералізацію Дніпровської води.

Водоймища, що утворилися в зоні осідання шахтних полів шахти Павлоградська відносяться до сульфатного класу, магнієвої групи, другого типу. Сухий залишок 1,9-3,5 г/л. Аналогічний склад мають води в районі відвалу шахти «Благодатна» (Україна). Аналіз іонного складу вказує на наявність сульфатного засолення.

В водоймищах, що відокремлені від лісу захисними дамбами, ґрунтова вода відноситься до сульфатного класу, магнієвої або натрієвої групи, другого типу. Мінералізованість 2,2 – 2,4 г/л, загальна жорсткість 17,3 – 18,4 мг-екв/л, що значно перевищує граничну норму 7 мг-екв/л. Основним джерелом надходження надмірної кількості сульфат-іонів є шахтні води, а підвищений вміст іонів хлору спричинений виходом на земну поверхню (у зниженнях рельєфу) засолених ґрунтових вод.

Ставок-накопичувач шахт “Павлоградська” і “Благодатна” містить воду, що відноситься до хлоридного класу, натрієвої групи, третього типу і відрізняється високою мінералізацією (до 14,03 г/л). Загальна жорсткість від 52 до 64 мг-екв/л. Вода у підтопленому лісі також належить до хлоридного класу, натрієвої групи, третього типу. Вона відноситься до слабомінералізованої

(2,4 – 2,6 г/л), але відрізняється хлоридним засоленням, що є особливо небезпечним для лісових рослин. Сульфатна агресивність за кількістю іонів  $\text{SO}_4^{--}$  (1215 мг/л), надмірна кількість іонів хлору (біля 5000 мг/л), в той час як вміст цих іонів за санітарними нормами не повинен перевищувати 500 мг/л, значна жорсткість робить води шахтних відстойників непридатними для зрошення та промислового використання.

В межах досліджених вченими шахтних полів знаходиться 1633 га лісів Павлоградського держлісгоспу. Найбільш родючі чорноземи незмиті і слабозмиті складають в загальній площі гірничих відводів 71,6%. Під впливом високомінералізованих вод техногенного походження хімічної деформації зазнали алювіальні заплавні лісові ґрунти, добре гумусовані, з високим лісорослинним ефектом. Різко погіршилися їх водно-фізичні і агрохімічні властивості. Зруйнувалась структура, а в ґрунтового вбираному комплексі з'явився натрій. Сухий залишок складає 0,85 – 0,89%, що значно перевищує оптимальні показники.

Моніторингові дослідження виявили тотально-катастрофічні сукцесії лісової рослинності, зокрема масове всихання дібров заплави як реакцію на підтоплення, формування лучних та болотних комплексів на місці загиблих лісових масивів в зонах осідання, натуралізацію соснових насаджень і формування елементів борового комплексу в зонах, де осідання незначне.

У зонах гірничих розробок було проведено кадастрову оцінку лісових насаджень і моніторинг ґрунтових умов. Комплексна діагностика стану лісової рослинності на різних стадіях підтоплення розкриває закономірності формування похідних фітоценозів під впливом осідання шахтних полів. Стрессукцесії лісових насаджень в зонах шахтних розробок детермінуються головним чином темпами опускання земної поверхні і фінальними глибинами поверхневих і ґрунтових вод. Зміна рівня ґрунтових вод, перезволоження і засолення ґрунтів, зменшення ґрунтового населеного коренями шару внаслідок підтоплення є головним фактором деградації ґрунтового покриву і загибелі лісу.

Експериментальні роботи в зоні підтоплення були спрямовані на виявлення ефективності штучного водозниження й визначення оптимального режиму дренажу. На стаціонарних пробних ділянках дослідниками було вивчено життєвість та стан лісових культур у різних умовах ґрунтового зволоження, які в свою чергу визначались ступенем осідання поверхні й дослідним режимом дренажу.

У результаті досліджень установлений оптимальний рівень ґрунтових вод (1,2 – 2,0 м) залежно від едафічних умов та типологічної характеристики лісу. Він забезпечує нормальний розвиток лісових насаджень у підданих осіданню долинних місцезростаннях. Використання дренажної системи в такому режимі рекомендовано і впроваджено у виробництво. Практичне застосування штучного дренажу на полях шахт зумовило появу стійкого меліоративного ефекту.

Для всіх підроблених площ за рекомендаціями учених розроблено проекти водозниження, які передбачають своєчасну підготовку дренажних потужностей, цим запобігається засолення кореневого шару і забезпечується збереження лісу на діючих шахтних полях території Західного Донбасу. Упровадження розроблених принципів меліоративного захисту лісу дозволило на ділянках діючих шахтних полів запобігти загибелі лісових насаджень і зберегти лісові масиви на території Павлоградського держлісгоспу на площі майже 1600 га.

Фітоіндикація лісорослинних умов в зонах осідання шахтних полів показала, що зміни рослинного покриву визначаються в першу чергу едафічними факторами, а також техногенним і рекреаційним навантаженням. Геоботанічними дослідженнями встановлені закономірності формування похідних фітоценозів під впливом просадок лісових місцезнаходжень. Співвідношення основних рослинних асоціацій у дібровах заплави за тридцятирічний період показала, що катастрофічно скоротилась кількість корінних асоціацій, діброва заплави інтенсивно деградує.

Екологічна оцінка меліоративної ролі водознижуючих заходів в зонах осідання шахтних полів. Багаторічна практика меліоративного захисту лісових насаджень в зонах просадки території свідчить, що науково обгрунтований штучний дренаж є надійним засобом, що забезпечує високу життєвість лісових насаджень, розташованих на діючих шахтних полях. На основі кадастрової оцінки лісових насаджень і ґрунтово-гідрогеологічних умов проведено районування просівших територій за перспективами, термінами та методами меліорації і відновлення.

У сформованих умовах найбільш інформативним показником стану гідрологічних і лісорослинних умов є режим ґрунтових вод, що характеризує порядок зміни в часі кількості і якості цих вод у конкретній природній і водогосподарчій обстановці. На порушених землях ареної тераси процеси, здатні привести до істотного збільшення загальної мінералізації ґрунтових вод, цілком припустимі, якщо засолені води солонцюво-солончакового комплексу заплавних територій із загальною мінералізацією 6 - 8 г/дм<sup>3</sup> – у результаті осідання змінять свій потік у бік другої піщаної тераси. Крім того, можливим наслідком підтоплення може бути оглеєння ґрунтів, але дослідження гранулометричного складу ґрунтів також не виявили збільшення доли фізичної глини у зразках, що контактують з ґрунтовими водами. Прогнозовані техногенні зміни, що могли спричинити зниження лісорослинного ефекту порушених земель арени, на даний час не спостерігаються.

Прогноз і оцінка змін гідрологічного режиму території залежить від фінальних рівнів ґрунтових вод, їх хімізму й екологічних наслідків осідання. Гідрологічний режим арени відрізняється від заплави: ґрунтові води арени, прісні й ультрапрісні, що зменшує можливість засолення ґрунтів, а піски арени легше віддають «зайву» воду. Арена по рельєфу займає більш високі позиції в порівнянні з заплавою і при техногенному опусканні на 1 м рівні поверхні арени все-таки перевищують відмітки поверхні заплави. При цьому змінюється

лише швидкість руху ґрунтових вод убік р. Самари, але цей рух усе-таки не припиниться цілком і тим самим можна запобігти підвищенню РГВ на порушених територіях.

У той же час на просівших територіях заплавної частини долини едафічні умови набувають різко виражені однобічні якості, що виражаються в підтопленні, перезволоженні, розвитку анаеробіозису, руйнуванні структури ґрунтів у замкнутих зниженнях, нагромадженні токсичних одновалентних катіонів, збільшенні концентрації закисних форм сполук заліза, поступовому оглеєнню. Із часом ґрунтові умови стають усе більше жорсткими, обмежуючи ріст і розвиток деревних рослин, і в таких позиціях зростає перевага чистих культур перед змішаними. Успіх лісорозведення при цьому залежить від уміння підібрати деревні породи, що типологічно відповідають цим односторонньо вираженим ґрунтовим екологічним умовам.

До фітомеліоративних засобів регулювання й оптимізації водного режиму можна віднести глобальне заліснення території. Кореневі системи деревних рослин здатні, завдяки десукції, значно понизити рівень ґрунтових вод. На території техногенного підтоплення можливе збереження локалітетів лучних супіщаних ґрунтів, що містять деяку кількість гумусових речовин у мулистій фракції. На таких ґрунтах доцільніше створення культур верби білої, берези бородавчастої і повислої, сосни звичайної, а також вільхи чорної. Найбільш доцільні терміни створення лісових культур – відразу після осідання і повної стабілізації рельєфу, що дозволить формувати кореневі системи експериментальних культур відповідно до нових ґрунтово-гідрологічних умов (які можуть бути як гідроморфними, так і більш ксероморфними).

Відновлення стійких високопродуктивних лісових насаджень на порушених землях досягається системою водознижуючих заходів і комплексом лісовідновних робіт у процесі раціональної ландшафтної організації території.

## **ТЕМА 12. СУЧАСНІ ПРИНЦИПИ І ТЕХНОЛОГІЇ МОРСЬКОГО МОНІТОРИНГУ ШЕЛЬФОВИХ МОРІВ**

Чорне море відіграє винятково важливу роль у становленні України як високорозвиненої європейської держави. Внутрішні і зовнішні транспортні зв'язки, колосальний рекреаційний потенціал узбережжя моря, обумовлений сприятливими і різноманітними кліматичними умовами, запаси морепродуктів, які мають промислове значення, сировини для хімічної промисловості, будматеріалів, корисних копалин і багато чого іншого. Важко переоцінити роль Чорного моря у внутрішньому і зовнішньому транспортному зв'язках України в її новому геополітичному положенні. Великі проекти в цій області – нафтопровід Одеса – Броди, канал по Дунаю припускає істотний ріст вантажоперевезень через українські порти. Найбільші з них – Одеса, Іллічівськ, Південний, Миколаїв, Херсон, Севастополь, Ялта, Феодосія, Керч. Все це визначає басейн Чорного моря як район стратегічних інтересів України. У той же час водні ресурси моря піддаються істотному антропогенному навантаженню, що вносить помітний внесок у динаміку формування

екологічного стану не тільки морських акваторій, але й приморських регіонів. Погіршення екосистем Чорного моря і виснаження його морських ресурсів протягом останніх десятиліть сприяє погіршенню якості навколишнього середовища у прибережних районах і, як наслідок, зниженню рівня їх рекреаційного потенціалу. У червні 1992 р. в Ріо-де-Жанейро відбулась Конференція Організації Об'єднаних Націй з Навколишнього Середовища і Розвитку і, зокрема, стосовно стійкого розвитку океанів, морів і прибережного середовища в Програмі XXI. Визнаючи необхідність спільних зусиль для збереження Чорного моря, країни Чорноморського басейну підписали Конвенцію про захист Чорного моря від забруднення (1992, Бухарест, Румунія).

Відповідно до Статті VII Конвенції країни-учасники повинні вживати всіх необхідних заходів щодо запобігання, скорочення та контролю за забрудненням морського середовища Чорного моря, яке спричинено виносом від наземних джерел, таких, як річки, канали, берегові споруди, інші штучно створені структури, випадінням опадів або виносом, що надійшли від будь-якого іншого наземного джерела, включаючи атмосферу.

В розвиток положень Конвенції 22 березня 2001 р. Верховною Радою України була прийнята державна «Програма охорони та відтворення довкілля Чорного моря», яка є першою національною програмою, що має статус закону в країнах Чорноморського басейну. Для ефективної реалізації положень цієї програми, а також зобов'язань України по Конвенції, необхідно мати сучасну систему моніторингу внутрішніх морських вод, територіального моря та виключної (морської) економічної зони України на Чорному морі, а також чинників антропогенного впливу на них. Елементи такої системи функціонують в рамках «Порядку державного моніторингу вод», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 20 липня 1996 р. N 815. Згідно цього Порядку, первинною інформацією про екологічний стан морських вод, яку одержують суб'єкти державного моніторингу, є дані спостережень, що ґрунтуються на періодичному відборі проб води на визначених ділянках моря з наступним лабораторним аналізом складу і кількості розчинених і зважених в них речовин. Зараз ця інформація отримується, накопичується і зберігається суб'єктами державного моніторингу вод різного відомчого підпорядкування. Це ускладнює можливості її ефективного практичного використання для об'єктивного наукового та економічного обґрунтування рішень з питань планування заходів з охорони морських акваторій від техногенного забруднення, екологічних експертиз різного рівня, оцінок впливу на екологічний стан морських екосистем діючих промислових і сільськогосподарських підприємств.

Ефективність сучасної організації фонового, загального і кризового моніторингу морських вод можна істотно підвищити, якщо доповнити її технологіями космічного моніторингу морських акваторій, а отримані при цьому геопросторові дані обробляти із залученням програмних інструментів сучасних геоінформаційних систем. При цьому відкриваються можливості не тільки оперативно отримувати дані про просторово-часові розподіли параметрів екологічного стану морських акваторій під впливом антропогенних і



природних чинників, а й зручні форми їх надання користувачам у вигляді візуалізованих тематичних картографічних моделей. Ці моделі забезпечують зручний доступ до атрибутивних даних кожного з чинників забруднення, які можуть існувати в текстовій або табличній формах.

Значний внесок у розвиток методів обробки і тематичної інтерпретації космічних знімків, актуальних екологічних проблем Чорного моря внесли дослідження українських і закордонних вчених таких, як Попов М.О., Лялько В.І., Бондур В.Г., Михайлов В.І., Шнюков Е.Ф., Іноземцев Ю.І., Іванов В.О., Єремєєв В.М., Коротаєв Г.К., Панов Б.Н.

Актуальною проблемою космічного моніторингу морських акваторій є створення ефективної комп'ютеризованої системи обробки й аналізу матеріалів ДЗЗ. Для вирішення цієї задачі використовуються як класичні методи, реалізовані у ГІС-програмах, так і нові методи, які формуються в процесі обробки космічних знімків.

### **Загальна характеристика Чорного моря як об'єкта моніторингу**

*Визначення регіону Чорного моря.* Чорне море – внутрішнє море басейну Атлантичного океану, омиває берега України, Грузії, Болгарії, Туреччини. Керченською протокою з'єднано з Азовським, протокою Босфор – з Мармуровим і протокою Дарданелли – зі Середземним морем.

Чорне море розташоване між  $40^{\circ}56'46''33'$  пн.ш. і  $27^{\circ}27'41''42'$  с.д.

Найбільша довжина моря по  $42^{\circ}29'$  пн.ш. складає 1148 км. Найменша ширина його по меридіану південного краю Кримської ділянки півострова (від мису Мишоїд) становить 258 км. Площа моря складає 422 тис. кв. км, загальний об'єм води – 547 тис. кв. км, довжина української ділянки берегової лінії 1829,1 км (між дельтовою протокою Мусуна – державний кордон з Румунією, та мисом Такил на південному сході Керченського півострова. Пересічна глибина 1271 м, максимальна 2245 м.

В межах України у Чорне море впадають великі річки Дунай, Дніпро, Дністер, Південний Буг і багато дрібних річок. У прибережній смузі знаходяться 14 морських лиманів та естуаріїв загальною площею  $1952 \text{ м}^2$  із солоністю води від 0,3 до 296,0 ‰; заток загальною площею  $1770 \text{ м}^2$  і солоністю 3,018.5 ‰.

У будові дна Чорного моря виділяються: шельф, материковий схил та глибоководна улоговина. Шельф чи материкова обмілина являє собою безпосереднє продовження суші, що опинилася під водами моря. Він займає значну площу в північно-західній частині моря. Ширина шельфу тут сягає понад 200 км, глибина сягає 100 м, місцями до 160 м. В інших частинах моря глибина шельфу складає менше 100 м, ширина його 2,2-15 км. Біля Кавказького і Анатолійського берегів шельф представлений вузькою переривчастою смугою. Північно-західна шельфова зона має слабкий нахил і плоскісно-рівнинний абразивно-аккумулятивний рельєф.

Плавний, рівнинний рельєф шельфу значно ускладнюється підводними долинами і каньйонами. У більшості випадків вони звивисті, з добре вираженими схилами, особливо на периферії шельфу, частіше в місцях

переходу до материкового схилу. В основному це підводне продовження річкових долин прилеглої суші. На північно-західному шельфі простежуються долини річок Дунаю, Дністра, Дніпра і Південного Бугу.

Шельф переходить у материковий схил досить значної крутості. Середні його ухили складають  $58^\circ$  у північно-західній частині, а в Керченській протоці –  $13^\circ$ . Крутість окремих ділянок досягає  $20-30^\circ$ . Материковий схил також сильно розчленований підводними долинами і каньйонами. Центральну частину Чорноморської западини займає глибоководна улоговина з глибинами 2000-2200 м. Її максимальна глибина – 2258 м. Дно улоговини – плоска акумулятивна рівнина. Утворення западини Чорного моря пов'язують як із процесами “океанізації” материкової земної кори, так і з реліктовою природою западини як залишкового басейну древнього океану.

### **ТЕМА 13. МАЛОВІДХОДНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТЕ ВИРОБНИЦТВО**

Термін “безвідходні технології” був вперше запропонований вченими, академіками М.М. Семеновим та І.В. Петряновим-Соколовим. За досить короткий проміжок часу (незважаючи не зовсім правильну суть самої назви) він почав широке застосування в усьому світі.

Безвідходні технології часто називають ще маловідходними або екологічно чистою, розуміючи при цьому ідеальну модель такого виробництва, яке поетапно (по мірі розвитку НТП) наблизиться до своєї теоретичної межі ідеального нешкідливого виробництва. В зв'язку з таким широким трактуванням цього терміну сьогодні існує кілька підходів до визначення таких технологій.

Наприклад, Європейська економічна комісія ООН (згідно з “Декларацією про маловідходні і безвідходні технології”) розуміє під останньою “практичне застосування знань, методів і засобів, з метою забезпечення потреб людини найбільш раціональним використанням природних ресурсів і енергії та захисту навколишнього середовища”.

Деяко інше визначення пропонує комісія ЄС. “Чиста (безвідходна) технологія – це такий метод виробництва продукції при найбільш раціональному використанні сировини та енергії, який дозволяє одночасно знизити об'єм викидів у навколишнє середовище забруднюючих речовин і кількість відходів, отриманих при виробництві і експлуатації виготовленого продукту”.

Але якими б не були визначення безвідходних технологій, їх суть та завдання полягають в тому, щоб без зниження продуктивності вони забезпечували екологічну безпеку навколишнього природного середовища.

Маловідходна технологія – це такий спосіб виробництва продукції, за якого шкідливий вплив на навколишнє середовище не перевищує рівень, що

допускається санітарно-гігієнічними нормами, а відходи направляються на тривале збереження чи переробку.

Удосконалення безвідходних (маловідходних) технологій, на думку спеціалістів, повинно відбуватися у наступних напрямках:

Розробка принципово нових процесів отримання продукції, які дозволяють виключати, скорочувати або замінити технологічні стадії, які дають найбільше відходів.

Створення безстічних технологічних систем та водозворотніх циклів на базі існуючих та перспективних способів очистки стічних вод.

Розробка систем переробки відходів, що використовуються як вторинні матеріальні ресурси (реутилізаційні технології).

Створення територіально-виробничих комплексів (ТВК), для яких характерна замкнута структура потоків сировини та відходів в середині комплексу.

Основою розвитку усіх безвідходних (маловідходних) технологій є комплексна переробка сировини, особливо в гірничовидобувній, металургійній та хімічній галузях. Значно складніше цього досягти в багатоміністерних та серійних виробництвах машинобудування. Але й тут з'являються перспективи пов'язані із використанням сучасних композиційних матеріалів, хоча зрозуміло, що принциповим зразком безвідходних технологій виступають екотехнології побудовані за принципом дії природних екосистем. Біосферне виробництво є найбільш масштабним на планеті з точки зору відтворення, використання вихідних матеріалів, знищення відходів в середині екосистеми. Ось чому пропонуються використання у виробництві функціонально-організаційних принципів екосистем:

Створення системи комплексного виробництва шляхом об'єднання окремих спеціалізованих виробництв на певних територіях по типу (популяція-біогенез), тобто створення ТВК.

В склад ТВК повинні входити якісно різноманітні виробництва для того, щоб розробка і переробка вихідної сировини здійснювались по різних технологічних ланцюжках, але з вищим коефіцієнтом використання матерії та енергії.

Спадковість системи, суть якої полягає в тому, що відходи одного виробництва (популяції) є вихідним матеріалом (сировиною) для іншого.

Можливістю системи є розкладання в кінцевому результаті відходів до звичайних мінеральних сполук та простих хімічних елементів.

Якщо неможливо досягти мінералізації відходів то слід досягти високого рівня їх утилізації з метою подальшого їх захоронення або переробки в планетарних процесах.

Регуляція потужності виробництв з метою недопущення надмірного виробництва продукції та використання сировини (обмеження використання і споживання ресурсів).

Кількісна оцінка безвідходного технологічного процесу здійсненого за допомогою коефіцієнту використання сировини, що виступає головним показником досягнення рівня безвідходного виробництва.

Важливим елементом екологізації виступає розробка технологій виділення та зменшення відходів. Перш за все, відходів повинно утворюватися якомога менше. Це досягається за рахунок рециклінгу відходів (рециркуляційної технології). Рециклінгом відходів називають їхнє повторне використання для отримання корисних продуктів.

Утилізація металічних відходів здійснюється за двома принципово відмінними методами: з переплавленням і без переплавлення. З точки зору зменшення забруднення навколишнього середовища, енергоємності і трудомісткості, метод утилізації металічних відходів без переплавлення більш раціональний і економічно вигідний. Але основним шляхом сьогодні все-таки є переробка металічних відходів з переплавленням.

Під регенерацією як технологічним процесом розуміють самостійні ціленаправленні операції, кінцева мета яких – відновлення вихідних властивостей матеріалу.

Безвідходне виробництво являє собою ряд взаємопов'язаних між собою технологічних процесів і операцій, при дотриманні (в ідеальному варіанті) таких умов, коли відходи відсутні, а саме, вся сировина використовується в замкненому циклі і переробляється в готову продукцію.

Оптимальним рішенням для цих умов, з точки зору максимального повного використання основних матеріалів, являється міжгалузева кооперація і комплексний зв'язок всіх технологічних циклів, а саме безвідходне поєднання процесів виробництва в рамках цілеспрямованого використання сировини і її продуктів. Другим етапом екологізації виробництва, а саме безконфліктного підключення господарської діяльності до природного механізму біосфери, є створення територіально-промислових комплексів (ТПК), взаємодія яких між собою здійснюється за моделлю природних екосистем.

### КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що таке світловий потік та потік випромінювання?
2. Обґрунтуйте визначення енергетична освітленість.
3. Дайте визначення фотоефекту.
4. Вкажіть, що таке гідроботанічні майданчики.
5. Що означає евтрофікація?
6. Назвіть основні токсичні компоненти стічних вод різних виробництв.

7. Яка дія радіонуклідного забруднення на гідро біонтів?
8. Що таке природна радіоактивність водних об'єктів?
9. Чому розробка запасів вугілля зумовлює підтоплення і заливання ґрунтовими водами поверхні з лісовими і сільськогосподарськими угіддями?
10. Охарактеризуйте Чорне моря як об'єкт моніторингу.
11. Що називають безвідходними технологіями?

## **РОЗДІЛ 6. ЗАКОНОДАВЧІ ТА ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНІ МЕХАНІЗМИ РЕАЛІЗАЦІЇ ПРИРОДООХОРОННИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

### **ПРИРОДООХОРОННЕ ЗАКОНОДАВСТВО**

На сьогоднішній день в Україні ми маємо таку екологічну обстановку, за якої правове регулювання взаємовідносин природи і суспільства стає необхідним. Воно полягає у встановленні науково обґрунтованих правил поведінки людини по відношенню до природи. Найважливіші правила такої поведінки закріплюються державою в законодавстві і стають загальнообов'язковими нормами права, забезпечені державним примусом на випадок їх невиконання.

### **ЕКОЛОГІЧНЕ ПРАВО УКРАЇНИ**

Екологічне право – це система правових норм, якими регулюються суспільні відносини з охорони навколишнього природного середовища та раціонального використання природних ресурсів. До складу системи входять такі підгалузі як земельне, водне, лісове, гірниче право та деякі інші галузі права, якими регулюються відносини з охорони навколишнього природного середовища та раціонального використання природних ресурсів.

### **ЗАКОНОДАВСТВО ПРО ОХОРОНУ НАВКОЛИШНЬОГО ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА**

Охорона навколишнього природного середовища – складова раціонального природокористування. Вона здійснюється різними, у тому числі і правовими методами. При цьому в правових формах захищаються переважно всі компоненти природного середовища. Сучасними головними нормативно-правовими актами, що регулюють основи організації охорони навколишнього природного середовища, є Закони України: "Про охорону навколишнього природного середовища" від 25 червня 1991 р "Про охорону атмосферного повітря" від 16 жовтня 1992, "Про природно-заповідний фонд України" від 16 червня 1992," Про тваринний світ "від 3 березня 1993 року," Про карантин рослин "від 30 червня 1993 та ін. Також деякі відносини у сфері використання та охорони навколишнього природного середовища регулюються кодексами .

Таким чином, основу правової охорони навколишнього природного середовища складають норми земельного, водного, лісового законодавства, законодавства про надра тощо.

### **ЕКОЛОГІЧНІ ПРАВА ТА ОБОВ'ЯЗКИ ГРОМАДЯН**

Екологічні права і обов'язки громадян України - це система юридично закріплених за громадянами повноважень і зобов'язань в екологічній сфері. Найповніше екологічні права та обов'язки закріплено в Законі України "Про охорону навколишнього природного середовища" (статті 9-12).

За Законом громадянин України має право на: безпечне для життя здоров'я навколишнє природне середовище; об'єднання в громадські природоохоронні формування; одержання у встановленому порядку повної та достовірної екологічної інформації тощо. До того ж і в Конституції України записано: "Кожен має право на безпечне для життя і здоров'я довкілля, і на відшкодування заподіяної порушенням цього права шкоди. Кожному гарантується право вільного доступу до інформації про стан довкілля, про якість харчових продуктів і предметів побуту, а також право на її поширення" (ст. 50). Встановлено офіційно, що узагальнена комплексна інформація про екологічну, радіаційну обстановку і стан захворюваності населення повинна оприлюднюватися на території України з подачі Міністерства природи, МОЗ України через Укрінформ двічі на рік: за перше півріччя – до 15 вересня, за весь рік – до першого квітня наступного року.

Всі екологічні права громадян захищаються в судовому порядку.

Поряд з правами Закон України "Про охорону навколишнього природного середовища" передбачає стосовно до громадян і деякі обов'язки. Так громадяни зобов'язані: берегти, охороняти і раціонально використовувати природні багатства; не порушувати екологічних прав інших суб'єктів; компенсувати завдану ними шкоду і т.д. Важливим є розділ про екологічну експертизу, обов'язковість якої закріплена законодавчо.

#### ПРАВА ТА ОБОВ'ЯЗКИ ПРИРОДОКОРИСТУВАЧІВ

Право природокористування – процес раціонального використання людиною природних ресурсів для задоволення різних потреб та інтересів. Найважливішими принципами природокористування є його цільовий характер, плановість і строковість, ліцензування, врахування великого значення в житті суспільства. При цьому розрізняються такі групи природокористування як право загального і спеціального використання землі, вод, лісів, надр, тваринного світу тощо. Природних ресурсів.

У відповідність із Законом України "Про охорону навколишнього природного середовища", суб'єктами права загального користування природними ресурсами можуть бути всі громадяни для задоволення різних потреб та інтересів. Воно здійснюється громадянами безкоштовно та безліцензійної. Право загального природокористування закріплене і в Конституції України: "Кожен громадянин має право користуватися природними об'єктами права власності народу у відповідність із законом" (ст.13).

Спеціальне природокористування, на відміну від загального, – це використання конкретних природних ресурсів, який здійснюють громадянами, підприємствами та організаціями у випадках, коли відповідна, визначена в законодавстві, частина природних ресурсів передається їм для використання.

Зазвичай така передача є платною і певної в часі. Передача природних ресурсів відбувається на основі спеціальних дозволів – державних актів на право постійного використання, наприклад, землю, договорів оренди землі, ліцензій тощо. Мети спеціального використання завжди обумовлюються. Крім того, Закон покладає на суб'єктів спеціального природокористування спеціальні зобов'язання, такі як плата за спеціальне природокористування та плата за вироблене ними забруднення навколишнього середовища.

Контроль у сфері природокористування та охорони навколишнього середовища здійснюється через перевірку, нагляд, обстеження, інвентаризацію та експертизи. Він може здійснюватися як уповноваженими державними органами, так і громадськими формуваннями. Державний контроль покладається на ради народних депутатів, державні адміністрації, Міністерство охорони навколишнього природного середовища та його органи на місцях.

Громадський контроль здійснюється громадськими інспекторами з охорони навколишнього природного середовища, порядок діяльності яких визначений Положенням, затвердженим Міністерством охорони навколишнього природного середовища.

Закон України "Про охорону навколишнього природного середовища" регулює відносини охорони навколишнього середовища, раціонального використання природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки життєдіяльності людини і спрямований на утворення сприятливих умов економічного і соціального розвитку України у сфері здійснення екологічної політики.

#### *Природно-заповідний фонд*

Природно-заповідний фонд – це ділянки суші і водного простору, природні комплекси та об'єкти, що мають особливу природоохоронну, наукову, естетичну та іншу цінність, а тому виділені з метою збереження природного середовища, генофонду тваринного і рослинного світу, підтримання загального екологічного балансу та екологічної безпеки України. До природно-заповідного фонду відносять: природні об'єкти (заповідники, національні парки тощо) та штучні об'єкти (ботанічні сади, зоологічні парки тощо). Природні заповідники, заповідні зони біосферних заповідників, національні парки є власністю народу України. Решта об'єктів природно-заповідного фонду можуть перебувати і в інших формах власності на певних умовах.

За порушення законодавства України про природно-заповідний фонд винна особа може притягуватися до дисциплінарної, адміністративної, цивільної або кримінальної відповідальності.

Закон України "Про природно-заповідний фонд" регулює економічні, соціальні, правові та екологічні відносини природно-заповідного фонду в Україні.



## ПРАВОВА ОХОРОНА АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ І ТВАРИННОГО СВІТУ

Закон України "Про охорону атмосферного повітря" спрямований на збереження сприятливого стану атмосферного повітря, його оновлення і поліпшення, усунення шкідливого впливу на навколишнє середовище.

Державні стандарти в цій сфері є обов'язковими і визначають поняття і терміни, режим використання та охорони атмосферного повітря, методи контролю над його станом, вимоги для уникнення шкідливого впливу на атмосферне повітря тощо. Встановлюються нормативи: екологічної безпеки атмосферного повітря; обмежено допустимих викидів забруднюючих речовин і шкідливого впливу фізичних та біологічних факторів стаціонарними джерелами; обмежені нормативи утворення забруднюючих речовин, які виводяться в атмосферне повітря; використання атмосферного повітря - як сировини; концентрації забруднюючих речовин у відпрацьованих газах.

Держава покладає на підприємства, установи та організації відповідні обов'язки. Так, вони зобов'язані використовувати заходи по зменшенню обсягів шкідливих викидів, підтримувати в належному стані споруди, обладнання та апаратуру для очищення викидів тощо.

Економічний механізм забезпечення охорони атмосферного повітря полягає в обмеженні, економічне стимулювання охорони атмосферного повітря. Контроль у цій сфері може бути державним, виробничим і суспільним.

Правопорушеннями у галузі охорони атмосферного повітря є: порушення нормативів гранично допустимих викидів забруднюючих речовин; перевищення нормативів гранично допустимих рівнів шкідливого впливу фізичних та біологічних факторів; використання атмосферного повітря як сировини основного виробничого призначення без дозволу спеціально уповноважених державних органів тощо.

Закон України "Про тваринний світ" регулює відносини в галузі охорони природи використання і відтворення тваринного світу, об'єкти якого перебувають у стані природної волі, у неволі або напіввільних умовах, на суші, у воді, ґрунті, повітрі, постійно чи тимчасово населяють територію України або ставляться до природних багатств її континентального шельфу та морської економічної зони.

Суб'єктом права загальнодержавної власності на тваринний світ є держава в особі Верховної Ради України. Окремі об'єкти тваринного світу можуть перебувати в колективної та приватної власності.

Громадяни України зобов'язані: охороняти тваринний світ і середовище перебування диких тварин; сприяти відтворення об'єктів тваринного світу; використовувати об'єкти тваринного світу відповідно до вимог.

За порушення законодавства можлива дисциплінарна, адміністративна, цивільно-правова і кримінальна відповідальність.

## ПРАВОВА ОХОРОНА ВОДНИХ РЕСУРСІВ

Водний кодекс України регулює правові відносини з метою забезпечення збереження, наукового обґрунтування, раціонального використання вод для потреб населення і галузей економіки, відтворення водних ресурсів, охорони вод від забруднення і вичерпання, запобігання шкідливій дії вод та ліквідації її наслідків, поліпшення стану водних об'єктів, а також охорони прав підприємств, установ, організацій і громадян на водокористування. Водний фонд України включає всі водні об'єкти на території України. До нього належать: поверхневі води (озера), водотоки (річки, струмки), штучні водойми (водосховища, ставки) і канали; підземні води та джерела; внутрішні морські води і територіальне море.

Порушення водного законодавства тягне за собою дисциплінарну, адміністративну, цивільно-правову або кримінальну відповідальність.

### *Використання і охорони надр*

Надра – це ділянка земної кори, розташований під поверхнею суші та дном водоймищ; простягається до глибин, доступних для геологічного вивчення та освоєння. Надра є виключною власністю народу України і передаються тільки у користування.

Державний фонд надр охоплює як ділянки надр, що використовуються, так і ділянки надр, що не залучені до використання, в тому числі континентального шельфу і виключної морської економічної зони.

Родовища корисних копалин – це нагромадження мінеральних речовин в надрах, на поверхні землі, в джерелах вод та газів, на дні водоймищ, які за кількістю, якістю та умовами залягання прийнятні для промислового використання.

Всі родовища корисних копалин, у тому числі техногенні, з запасами, оціненими як виробничі, складають Державного фонду родовищ корисних копалин, а всі перед цим оцінені родовища корисних копалин – резерв цього фонду. Цей фонд є частиною Державного фонду надр.

Корисні копалини за значенням діляться корисні копалини загальнодержавного та місцевого значення. Віднесення корисних копалин до загальнодержавного та місцевого значення здійснюється Кабінетом Міністрів України з подачі Державного комітету України по геології і використанню надр.

Користувачами надр можуть бути підприємства, установи, організації, громадяни України, а також іноземні юридичні особи та громадяни. Надра передаються в постійне або тимчасове використання.

Користування надрами є платним. Плата проводиться за користування надрами в межах території України, її континентального шельфу та виключної морської економічної зони.

Основними вимогами в галузі охорони надр є:

- забезпечення повного і комплексного геологічного вивчення надр;
- притримування встановленого законодавством порядку передачі надр у користування і недопущення самовільного користування надрами;
- раціональна видобуток і використання запасів корисних копалин і які у них компонентів;
- недопущення шкідливого впливу робіт, пов'язаних з користуванням надрами тощо.

У разі порушення цих та інших вимог, користування надрами може бути обмежено, тимчасово заборонено чи зупинено органами Міністерства охорони навколишнього природного середовища України, державного гірничого нагляду, державного геологічного контролю або іншими спеціально уповноваженими на це державними органами в порядку, встановленому законодавством України.

### МІЖНАРОДНЕ СПІВРОБІТНИЦТВО

Необхідність міжнародного співробітництва у сфері екології пояснюється глобальністю проблем відносини природи і суспільства. Ця необхідність відображена в резолюціях Генеральної Асамблеї ООН з проблем навколишнього середовища. Право навколишнього середовища стало нормативною базою природоохоронного співробітництва країн. Воно є інтегрованою галуззю міжнародного права, яка визначає режим охорони і використання міжнародних територій Світового океану, атмосфери Землі, космічного простору, міжнародних природних ресурсів. У цій галузі досягнуто понад 300 міжнародних угод, конвенцій, домовленостей, які регулюють взаємовідносини країн у справі охорони природи та організації раціонального природокористування на регіональному і глобальному рівнях.

У 1989 р. був опублікований документ "Правові засади охорони довкілля та стійкого розвитку", підготовлений спеціальною Комісією міжнародної групи експертів-юристів за завданням ООН.

У межах міжнародного співробітництва вирішуються найбільш важкі проблеми і конкретні проекти, реалізацією яких займаються різні міжнародні спеціалізовані як урядові (ЮНЕП, ЮНЕСКО, ВМО, ВООЗ, МАГАТЕ тощо), так і громадські організації.

З громадських організацій велику роботу проводить Грінпіс, утворена в 1971 р. в Південній Америці (в Україні діє з 1990 р.).

Молода Українська держава з перших днів незалежності бере активну участь у міжнародних природоохоронних заходах та реалізації екологічних

програм і проектів. Міжнародне співробітництво в галузі навколишнього природного середовища займає одне з найважливіших місць у зовнішньополітичному курсі України.

Українські вчені підтримують ділові відносини зі своїми колегами в Угорщині, Чехії, Словаччині, Польщі, Болгарії та інших країнах. Спільними силами ведуться дослідження екосистем Карпат, Полісся, Чорного моря, розробляються заходи для заощадження рекреаційних ресурсів, рідкісної флори і фауни.

Для створення сприятливих умов добросусідського співробітництва в лютому 1993 року з ініціативи Польщі, Словаччини, України та Угорщини був заснований Карпатський Єврорегіон.

Наразі важливість правового регулювання взаємовідносин природи і суспільства дійсно дуже велика.

На сьогоднішній день Українське законодавство з охорони навколишнього середовища вже містить ряд дуже важливих законів. Однак воно не позбавлене недоліків.

Серйозним недоліком сьогоднішнього природоохоронного законодавства є те факт, що формувалося воно за поресурсним ознаками, тобто окремому регулюванню підлягали земельні, водні, гірські, лісові, атмосферно-охоронні та інші відносини.

Оцінки глобального екологічного стану навколишнього середовища змінюються від оптимістичних (типу "необхідно запобігти екологічній кризі") до помірковано песимістичних (типу "планета знаходиться на передодні кризи") і вкрай песимістичних ("на регіональних рівнях мова вже йде про "тверду екологічну кризу"). Вважають, що відповіді на ці питання повинна дати наукова концепція екологічної безпеки на базі екологічного моніторингу навколишнього середовища.

Зміни в стані навколишнього середовища відбуваються під впливом біосферних процесів, пов'язаних з діяльністю людини. Визначення внеску антропогенних змін являє собою специфічне завдання.

У будь-якому випадку, поняття "середовище", в усьому різноманітті його форм і видів, є провідним при розгляді проблем взаємодії живої природи та її оточення. Ось чому, в широкому спектрі сучасних екологічних досліджень, вчені-екологи змушені застосовувати багато різновидів поняття "середовище" в залежності від специфіки та напрямків своєї наукової діяльності. Зокрема, в соціальній екології при розгляді проблем "суспільно-природної взаємодії", часто використовують згадки про наступні види (типи) середовища: зовнішнє, навколишнє, природне, антропогенне, географічне та інші. В зв'язку з цим виникає необхідність типології або класифікації (структуризації) поняття "середовища" з метою правильного вживання назв його різноманітних форм.

## Якість навколишнього середовища

Якість навколишнього середовища – властивості навколишнього середовища, що визначаються як у результаті об'єктивних вимірів параметрів навколишнього середовища, так і за допомогою суб'єктивних оцінок. Якість навколишнього середовища визначається порівнянням результатів вимірів з офіційно встановленими, максимально припустимими значеннями цих параметрів.

В структурі природного середовища, яке включає в себе уся сукупність навколишніх для людини (або іншої живої істоти) об'єктів живої та неживої природи ми пропонуємо розглядати наступні підтипи: абіотичне, біогенне та географічне. Усі їх складові, як ті, що не зазнали впливу людської діяльності, так і ті, що підпали під вплив антропогенних перетворень, але змогли зберегти здатність до саморозвитку (наприклад, лісові вирубки, перелогові землі, лише частково знищені популяції диких тварин тощо), слід охороняти від техногенного впливу, тому що саме вони виконують важливу екостабілізуючу функцію у довкіллі. Деякі елементи штучно перетвореного антропогенного середовища – докорінно перетвореної людиною в результаті процесу техногенезу природи – з часом також можуть стати частиною природного середовища, якщо їх подальший розвиток буде відбуватись без втручання людини (наприклад, парки, закинуті меліоративні канали, гірничо-промислові розробки тощо).

Важливе місце в цій ієрархічній структурі навколишнього середовища займає поняття "географічне середовище", під яким розуміється природа Землі, включена на даному історичному етапі в сферу людської діяльності, що є необхідною умовою існування і розвитку суспільства. У макромасштабі це поняття близьке до поняття "оточуюче людину середовище" або "середовище існування людини", а в менших масштабах під ним слід розуміти такий різновид довкілля як середовище суспільного розвитку (або природне середовище суспільного виробництва). Складовими природного середовища є також геологічне, геохімічне, водне, повітряне, біологічне та інші види середовищ натурального походження.

На думку еколога Д.Ф. Оуена, людина залежить в першу чергу від їжі, тому чисельність населення на планеті буде обмежуватись потенційною ємкістю світу, яка визначається наявністю продовольчих ресурсів в першу чергу рослинного походження, а вже далі тваринних, водних, енергетичних та інших ресурсів. Інший відомий еколог Ю. Одум передбачає, що при існуючих ресурсах і максимальній ємкості середовища біосфери, чисельність населення більше 10 млрд. викличе занепад якості людського існування і комфорту життя на планеті. На його думку, накопичується все більше інформації, яка свідчить про те, що оптимальна ємкість будь-якого середовища нижче теоретичної

максимальної, можливо на 50%. Отже, виходячи з цього, оптимальна чисельність населення планети мала би складати від 5 до 6 млрд. жителів. Ю. Одум підтвердив це через розрахунок комфортної ємкості Землі; з урахуванням того, що для психологічного комфорту людині потрібно 2 га земельних угідь (0,2 га для розселення і промислових потреб; 0,6 га для сільськогосподарських потреб; 1,2 га повинні бути недоторкані і забезпечувати екологічну стійкість біосфери і відпочинок людей). На межі тисячоліть людство перейшло через ці межі, за прогнозами фахівців чисельність населення Землі вийде на постійний рівень в межах 8,5 – 13,5 млрд. людей, що призведе до погіршення умов існування людства та суттєво вплине на якість довкілля.

В цьому контексті якість довкілля слід трактувати як природні умови, в яких наявні хімічні, фізичні, біологічні та інші елементи, не порушують екологічного балансу, взаємозв'язку людини і довкілля, не знижують природні властивості (можливості) середовища до самовідновлення.

Природно-соціальний підхід до оцінки якості довкілля передбачає в першу чергу оцінку стабільності середовища існування людини, під якою розуміють сукупність природних умов і антропогенно-природних чинників, що виключають настання будь-яких психологічних, психічних, фізіологічних, генетичних та інших ефектів для здоров'я людини протягом її життя. Він також вимагає розробки і дотримання певних нормативів екологічної безпеки – стандартів якості довкілля. Під останніми розуміють єдині нормативи, правила або регламенти спрямовані на підвищення суспільного добробуту, що являють собою гранично-допустимі рівні вмісту забруднюючих речовин або інших шкідливих антропогенних впливів.

Для оцінки не лише рівня забруднення середовища, але і його якості використовують показник, який називають гранично допустимою концентрацією (ГДК). ГДК – це максимальна концентрація речовини в навколишньому середовищі, при якій не спостерігається прямого або опосередкованого шкідливого впливу цієї речовини на організм людини. Їх підрозділяють на максимально разові (для працюючих у забруднених приміщеннях) та середньодобові (для зон житлової забудови). На основі ГДК розраховують розміри гранично допустимих викидів (ГДВ) поллютантів в атмосферу та гранично допустимі скиди (ГДС) забруднювачів у водойми. В більшості держав світу використовують також показник гранично допустимого екологічного навантаження (ГДЕН) на природні об'єкти.

Процес екологічного нормування та встановлені стандарти якості довкілля забезпечують лише часткове гарантування оптимальних параметрів стану навколишнього середовища. Концепція ГДК має багато вразливих місць, особливо це стосується захисту дикої флори і фауни, а також комплексної оцінки сумарної (сукупної) дії забруднювачів на здоров'я людини.

Із соціальної (або біосоціальної) точки зору якість довкілля найкраще характеризує поняття сприятливості (або комфортності) довкілля. У цьому випадку дається оцінка відповідності усіх складових довкілля біосоціальним вимогам людини з точки зору комфортності або дискомфортності (крайнім вираженням якої є екстремальність). Останні можуть бути тісно пов'язані з такими природними та антропоприродними чинниками формування якості навколишнього середовища, як забрудненість, патогенність тощо.

Сприятливість довкілля слід розглядати як стан природного довкілля та місць перебування людини, які позитивно впливають на здоров'я людини та біологічні процеси розвитку і функціонування живих організмів. В антропоєкології це поняття має яскраво виражений медичний підтекст. Окрім цього його широко застосовують в рекреології при оцінці впливу умов довкілля (кліматичних, ландшафтних та інших) на процес відпочинку та оздоровлення населення, а також в містобудівельній (архітектурній) екології при аналізі впливу компонентів і факторів навколишнього міського середовища на жителів.

Система екологічного моніторингу повинна накопичувати, систематизувати й аналізувати інформацію: про стан навколишнього середовища; про причини спостережних і ймовірних змін стану (тобто джерелах і факторах впливу); про допустимість змін і навантажень на середовище в цілому; про існуючі резерви біосфери.

Система моніторингу реалізується на декількох рівнях, яким відповідають спеціально розроблені програми: імпактному (вивчення сильних впливів у локальному масштабі); регіональному (прояв проблем міграції й трансформації забруднюючих речовин, спільного впливу різних факторів, характерних для економіки регіону); фоновому (на базі біосферних заповідників, де виключена господарська діяльність).

Варто взяти до уваги, що сама система моніторингу не включає діяльність по керуванню якістю середовища, але є джерелом інформації, яка необхідна для прийняття екологічно важливих рішень.

Проблеми керування якістю середовища існують і в Україні. Тому, коли виникає необхідність режимних спостережень навколишнього середовища, кожний суб'єкт господарської діяльності створює індивідуальну локальну систему моніторингу.

При створенні локальної системи моніторингу цим суб'єктом акцентуються варіації спостережень за принципом "найбільш негативний вплив" (надра – ґрунт – вода – повітря – рослини – тварини – людина, варіант будь-який).

Під локальним моніторингом варто розуміти такий організований моніторинг, при якому забезпечується постійна оцінка екологічних умов, стану й функціональної цінності екосистем на об'єктному рівні. Таким моніторингом

створюються умови для визначення термінових коригувальних дій у тих випадках, коли цільові показники екологічних умов не досягаються.

У дану систему моніторингу повинні входити наступні основні процедури: виділення (визначення) об'єкта спостереження; обстеження виділеного об'єкта спостереження; складання інформаційної моделі для об'єкта спостереження; планування (коректування) вимірів; оцінка стану об'єкта спостереження й ідентифікація його інформаційної моделі; прогнозування зміни стану об'єкта спостереження; складання інформації в зручній для користувача формі; доведення інформації до споживача.

Основні цілі локального моніторингу складаються у використанні своєчасної й достовірної інформації для керування природоохоронною діяльністю, що дозволяє: оцінити показники стану й функціональної цілісності екосистем; виявити причини зміни цих показників і оцінити наслідки таких змін, а також визначити коригувальні заходи; створити передумови для визначення заходів з виправлення виникаючих негативних ситуацій до того, як буде нанесений збиток.

Локальний моніторинг повинен бути орієнтований на ряд показників трьох загальних видів: дотримання, діагностики й раннього попередження.

Основні завдання локального моніторингу: спостереження за джерелами антропогенного впливу; спостереження за факторами антропогенного впливу; спостереження за станом природної екосистеми й процесами, що відбуваються в ній, під впливом факторів антропогенного впливу; оцінка фактичного стану природного середовища; прогноз зміни стану природного середовища під впливом факторів антропогенного впливу й оцінка прогнозованого стану природного середовища.

Використання інформації локального моніторингу дозволяє створити бази даних "типових" впливів (викидів, скидань, накопичень, забруднень тощо) на державному рівні й оцінити потенційну небезпеку конкретних виробництв і промислових підприємств.

Разом з тим, локальний моніторинг дозволяє використати дані епідеміологічних досліджень, які є ретроспективними по своїй природі й визначають зв'язок між захворюваністю й впливом у минулому, для далекоглядної, прогнозної оцінки зниження впливу на екосистеми

### **Оцінка навколишнього середовища**

Очевидним є те, що ресурсний характер показників стану навколишнього природного середовища, прийнятий на Україні, не відповідає сучасним вимогам формування системи сталого розвитку, які ґрунтуються на принципах міжнародної Конференції ООН з питань навколишнього середовища і розвитку. Актуальним стає впровадження інтегрованих показників стану навколишнього



природного середовища, що дозволило б розглядати узгоджено проблеми стану середовища, людського існування і соціально-економічного розвитку.

Міжнародне співтовариство на даному етапі розглядає показники стану навколишнього середовища як комплексний інструментарій для виміру та репрезентації еколого-економічних тенденцій в країні. Виходячи з цих позицій, виділяються три основні типи показників (Riki Therivel):

1) показники сучасного екологічного стану (наприклад, рівень NO<sub>x</sub>), які визначають існуючі екологічні параметри;

2) показники впливу або тиску (наприклад, викиди NO<sub>x</sub>), які відображають антропогенний вплив на навколишнє середовище;

3) показники, що регулюють вплив на навколишнє середовище, за допомогою яких визначається, як різні агенти реагують на специфічний вплив.

Останній тип показників пов'язаний з впровадженням конкретних заходів при розробці екологічної політики. Крім того, багато системних підходів акцентують основну увагу на показниках антропогенного впливу на навколишнє середовище та показниках реагування навколишнього середовища на техногенний тиск.

Загальними завданнями інтегрованих показників стану навколишнього природного середовища в міжнародній практиці є:

- оцінка місця і ролі екологічних проблем, які супроводжують економічне зростання держави;

- визначення стратегічних пріоритетів у короткострокових та довгострокових програмах соціально-економічного розвитку, які зорієнтовані на сталий розвиток суспільства та його рівновагу з динамічними процесами навколишнього середовища;

- визначення джерел фінансування та політичних пріоритетів природоохоронних стратегій;

- визначення пріоритетних екологічних проблем, які потребують першочергових вирішень на підставі реалістичних, ефективних та економічно зрівноважених рішень.

Інтегровані показники (індикатори) відіграють роль кількісних цільових завдань на кожному етапі впровадження. Їх основу становить первинна інформація про стан довкілля (дані моніторингу), що підлягає обробці та аналізу на наступному рівні, а на цьому матеріалі ґрунтується, в свою чергу, розробка екологічних показників або індикаторів. Термін "індикатор" в перекладі з латині *indicare* означає розкриття, доведення до відома громадськості, а в сучасній трактуванні репрезентує емпіричну модель реальності, яка служить основою для розробки індексів. Індекси є вершиною інформаційної піраміди, це найбільш агреговані чисельні показники для визначення заходів екологічної політики та прийняття відповідних рішень.

Індекс являє собою співвідношення реального стану до оптимального стану навколишнього середовища.

Оптимальний стан навколишнього середовища – це науково обґрунтовані оптимальні параметри природних екосистем з точки зору їх асиміляційної ємності щодо антропогенного впливу в регіональних природних умовах.

Інформаційна база, що використовується для розробки екологічних індикаторів, може охоплювати всі наслідки впливу на навколишнє природне середовище, тому ці данні іноді важко адаптувати для конкретних цілей. Для цього в міжнародній практиці широко використовується принципова схема класифікації екологічних індикаторів, яка служить для того, щоб систематизувати різноманітну екологічну інформацію та зробити її більш доступною і прийнятною для управлінців та населення.

В більш широкому розумінні використання класифікації екологічних індикаторів виникає із наступного ряду питань:

«... – що відбувається зі станом навколишнього природного середовища та природними ресурсами?

– чому це відбувається?

– що з цим можна зробити?».

Індикатори змін або тенденцій фізичного та біологічного стану природного середовища (індикатори стану – state indicators) відповідають на перше питання; індикатори напруги або антропогенного тиску, що викликає зміни в навколишньому природному середовищі (індикатори впливу – pressure indicators) відповідають на друге питання; і заходи екологічної політики, які регулюють наявність і розвиток екологічних проблем (індикатори реагування – response indicators) відповідають на третє питання.

Розглядаючи це питання більш детально, необхідно підкреслити, що індикатори стану визначають якісний стан навколишнього природного середовища, особливо ті його параметри, що погіршують умови життєдіяльності людини (наприклад, збереження озонового шару, якість повітря в урбанізованих ареалах тощо). Індикатори впливу, навпаки, виявляють причини екологічних проблем: виснаження природних ресурсів завдяки їх видобутку, або надмірні викиди забруднюючих речовин чи відходів в навколишнє природне середовище, а також антропогенне втручання як-то розвиток інфраструктури або збереження природних екосистем для спеціальних цілей використання. Іншими словами, ці індикатори вимірюють ступінь напруги навколишнього природного середовища. Індикатори реагування визначають зусилля, необхідні суспільству або органу управління для того, щоб покращити навколишнє природне середовище або зменшити його деградацію. Таким чином, вони вимірюють, як впроваджується екологічна політика з огляду

на досягнуті угоди, фінансові зобов'язання, наукові дослідження, відповідні нормативи, впровадження фінансових стимулів або зміну поведінки.

Проектуванні і будівництві підприємств, будинків і споруд. Основні положення проектування" і діючого природоохоронного законодавства України. Клімат території забудови помірно-континентальний з жарким літом і теплою вологою зимою. Характерною рисою є перевищення випаровування над шаром опадів. Геологічне середовище спокійне. Коса утворилась з середньозернистих пісків, які підстилаються водонепроникними геологічними прошарками, нижче на глибині 100...150м залягають породи верхнього сармату, які служать джерелом водозабезпечення курортної зони. Небезпечних явищ геологічного та геотехногенного походження на території коси не виявлено. Під час біологічної очистки стічних вод будуть виділятися в незначній кількості газу - діоксид вуглецю, азот.

### КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що таке екологічне право?
2. Назвіть екологічні права і обов'язки громадянина України.
3. Обґрунтуйте визначення «Право природокористування».
4. Що таке природно-заповідний фонд?
5. Дати визначення терміну«надра».
6. Які міжнародні організації регулюють питання з проблем навколишнього середовища?
7. Дайте характеристику визначенню «якість навколишнього середовища».
8. Що означає термін «безвідходні технології»?
9. Які закони регулюють охорону атмосферного повітря і тваринного світу?
10. Що таке чиста технологія?

## **ПЕРЕЛІК НАЙУЖИВАНІШИХ СТАНДАРТІВ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ПРИ ВИВЧЕННІ ЕКОЛОГІЧНОЇ БІОТЕХНОЛОГІЇ**

### **ГКД**

ГКД 34.02.305—2002. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от энергетических установок. Методика определения. (УДК 662.611:66.074.3. Викиди забруднюючих речовин у атмосферу від енергетичних установок. Методика визначення.

### **ГОСТ/ДСТУ/ ISO**

ГОСТ 12.1.007-76 Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.

ГОСТ 2.317-69\* Аксонометрические проекции.

ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.

ДСТУ 3910-99 "Охорона природи. Поводження з відходами. Класифікація відходів. Порядок найменування відходів за генетичним принципом і віднесення їх до класифікаційних категорій".

ДСТУ 3911-99 "Охорона природи. Поводження з відходами. Виявлення відходів і подання інформаційних даних про відходи. Загальні вимоги".

ГОСТ 25757-83 "Пылеуловители инерционные сухие. Типы и основные параметры". ДСТУ ISO 14001:2006 Системи екологічного керування. Вимоги та настанови щодо застосування (ISO 14001:2004 Environmental management systems - Requirements with guidance for use), Київ Держспоживстандарт України, 2006 р.

ДСТУ ISO 19011:2003 Настанови щодо здійснення аудитів систем управління якістю і (або) екологічного управління (ISO 19011:2002 Guidelines for quality and/or environmental management system audit), Київ Держспоживстандарт України, 2003 р.

ДСТУ 2195—99 (ГОСТ 17.9.0.2-99)"Охорона природи. Поводження з відходами. Технічний паспорт відходу. Склад, вміст, виклад і правила внесення змін".

ГОСТ 17.2.4.06-90 "Охрана природы.Атмосфера. Методы определения скорости и расхода газопылевых потоков, отходящих от стационарных источников загрязнения".

ДСТУ ISO 9998:2005 Якість води. Настанови щодо оцінювання та підрахування колоній мікроорганізмів на середовищі, яке використовують для визначення якості води (ISO 9998:1991, IDT)

ГОСТ 248 -81 Вода питьевая. Полевые методы санитарно-микробиологического анализа

ДСТУ ISO 9887-2002 Якість води. Оцінювання здатності до аеробного біологічного розкладання органічних сполук у водному середовищі. Напівбезперервний метод із використанням активного мулу (ISO 9887:1992, IDT)

ДСТУ ISO 10712:2003 Якість води. Тест на пригнічення росту *Pseudomonas putida* (тест на пригнічення розмноження клітин *Pseudomonas*) (ISO 10712:1995, IDT)

ДСТУ ISO 14507:2005 Якість ґрунту. Попереднє оброблення проб для визначення органічних забруднювальних речовин (ISO 14507:2003, IDT)

ДСТУ ISO 9998:2005 Якість води. Настанови щодо оцінювання та підраховування колоній мікроорганізмів на середовищі, яке використовують для визначення якості води (ISO 9998:1991, IDT)

ГОСТ 248 -81 Вода питьевая. Полевые методы санитарно-микробиологического анализа

ДСТУ ISO 4225:2008 Якість повітря. Загальні положення. Словник термінів (ISO 4225:1994, IDT)

ГОСТ 24481-80 Вода питьевая. Отбор проб.

ДСТУ ISO 9887-2002 Якість води. Оцінювання здатності до аеробного біологічного розкладання органічних сполук у водному середовищі. Напівбезперервний метод із використанням активного мулу (ISO 9887:1992, IDT)

ДСТУ ISO 9439:2005 Якість води. Оцінювання здатності органічних сполук до повного аеробного біологічного розкладання у водному середовищі. Метод визначення вивільненого діоксиду вуглецю (ISO 9439:1999, IDT)

ДСТУ ISO 9509-2002 Якість води. Метод визначання інгібування нітрифікувальних бактерій в активному мулі в результаті дій хімічних компонентів та стічних вод (ISO 9509:1989, IDT)

ДСТУ ISO 9887-2002 Якість води. Оцінювання здатності до аеробного біологічного розкладання органічних сполук у водному середовищі. Напівбезперервний метод із використанням активного мулу (ISO 9887:1992, IDT)

ДСТУ ISO 10634:2005 Якість води. Настанови щодо готування та оброблення органічних сполук, які важко розчиняються у воді, для подальшого оцінювання їх здатності до біологічного розкладання у водному середовищі (ISO 10634:1995, IDT)

ДСТУ ISO 10712-2003 Якість води. Тест на пригнічення росту *Pseudomonas putida* (тест на пригнічення розмноження клітин *Pseudomonas*) (ISO 10712:1995, IDT)

ДСТУ ISO 11733:2009 Якість води. Оцінювання біологічного розкладання та видалення органічних сполук з водного середовища. Метод моделювання активного мулу (ISO 11733:2004, IDT)

ДСТУ ISO 11734-2001 Якість води. Оцінка здатності органічних сполук переробленого мулу до повного анаеробного біорозкладу. Метод вимірювання об'єму біогазу, що виділяється (ISO 11734:1995, IDT)

ДСТУ ISO 13829-2003 Якість води. Визначання генотоксичності води і стічної води з використанням Уму-тесту (ISO 13829:2000, IDT)

ДСТУ ISO 14442:2005 Якість води. Настанови щодо випробування за пригніченнями росту водоростей погано розчинними матеріалами, леткими сполуками, металами та стічною водою (ISO 14442:1999, IDT)

ДСТУ ISO 14592-1:2008 Якість води. Оцінювання здатності до аеробного біологічного розкладання органічних сполук за низьких концентрацій. Частина 1. Метод струшування групи колб з поверхневою водою чи поверхневою водою/завислим мулом (ISO 14592-1:2002, IDT)

ДСТУ ISO 14592-2:2008 Якість води. Оцінювання здатності до аеробного біологічного розкладання органічних сполук за низьких концентрацій. Частина 2. Модель безперервного річкового потоку з фіксованою біомасою (ISO 14592-2:2002, IDT)

ДСТУ ISO 14593:2005 Якість води. Оцінювання здатності органічних сполук до повного аеробного біологічного розкладання у водному середовищі. Методи визначення бвмісту неорганічного вуглецю в закупорених посудинах (випробування на наявність CO<sub>2</sub> у вільному просторі верхньої частини посудини) (ISO 14593:1999, IDT)

ДСТУ ISO 15522:2005 Якість води. Визначення інгібувального впливу складу води на ріст мікроорганізмів активного мулу (ISO 15522:1999, IDT)

ДСТУ ISO 16221:2007 Якість води. Настанови щодо визначення здатності до біологічного розкладання в морському середовищі (ISO 16221:2001, IDT)

ДСТУ ISO 18749:2008 Якість води. Адсорбування речовин активним мулом. Групове випробування з використанням спеціальних аналітичних методів (ISO 18749:2004, IDT)

ДСТУ ISO 15522:2005 Якість води. Визначення інгібувального впливу складу води на ріст мікроорганізмів активного мулу (ISO 15522:1999, IDT)

ДСТУ ISO 16221:2007 Якість води. Настанови щодо визначення здатності до біологічного розкладання в морському середовищі (ISO 16221:2001, IDT)

ДСТУ ISO 11266-2001 Якість ґрунту. Настанови щодо лабораторного випробування біодеградації органічних хімічних речовин у ґрунті в аеробних умовах (ISO 11266:1994, IDT)

ДСТУ ISO 14238-2003 Якість ґрунту. Біологічні методи. Визначання мінералізації азоту і нітрифікації в ґрунтах та впливу хімічних речовин на ці процеси (ISO 14238:1997, IDT)

ДСТУ 3750-98 Мікробіологія ґрунту. Терміни та визначення

ДСТУ ISO 17616:2010 Якість ґрунту. Настанови щодо вибору та оцінювання методів біологічних аналізів для екотоксикологічного характеризування ґрунтів і ґрунтових матеріалів (ISO 17616:2008, IDT).

ГОСТ 17.4.4.02-84 Охрана природы. Почвы. Метод отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа.

ГОСТ 29269-91 Почвы. Общие требования к проведению анализов

ДСТУ ISO 11266-2001 Якість ґрунту. Настанови щодо лабораторного випробування біодеградації органічних хімічних речовин у ґрунті в аеробних умовах (ISO 11266:1994, IDT)

ДСТУ ISO 14238-2003 Якість ґрунту. Біологічні методи. Визначання мінералізації азоту і нітрифікації в ґрунтах та впливу хімічних речовин на ці процеси (ISO 14238:1997, IDT)

ДСТУ ISO 14240-1-2003 Якість ґрунту. Визначання ґрунтової мікробної біомаси. Частина 1. Метод субстрат-стимульованого дихання (ISO 14240-1:1997, IDT)

ДСТУ ISO 15473:2005 Якість ґрунту. Настанови з лабораторного випробування біодеградації органічних хімічних речовин у ґрунті в анаеробних умовах (ISO 15473:2002, IDT)

ДСТУ ISO 17155:2005 Якість ґрунту. Визначення чисельності та активності ґрунтової мікрофлори із застосуванням кривих дихання (ISO 17155:2002, IDT)

ДСТУ ISO 23753-1:2010 Якість ґрунту. Визначення дегідрогеназної активності ґрунтів. Частина 1. Метод з використанням трифенілтетразолхлориду (ISO 23753-1:2005, IDT)

ДСТУ ISO 23753-2:2010 Якість ґрунту. Визначення дегідрогеназної активності ґрунтів. Частина 2. Метод з використанням іодтетразолхлориду (ISO 23753-2:2005, IDT)

ДСТУ ISO 15799:2005 Якість ґрунту. Настанови щодо встановлення екоотоксикологічної характеристики ґрунтів та ґрунтових матеріалів (ISO 15799:2003, IDT)

ISO 257:2004 Пестициды и другие агрохимикаты. Принципы выбора общих названий

ДСТУ 44:2008 Агрохімікати. Встановлювання допустимих концентрацій шкідливих речовин

ГОСТ 14189-81 Пестициды. Правила приемки, методы отбора проб, упаковка, маркировка, транспортирование и хранение.

ДСТУ ISO 11266-2001 Якість ґрунту. Настанови щодо лабораторного випробування біодеградації органічних хімічних речовин у ґрунті в аеробних умовах (ISO 11266:1994, IDT)

ДСТУ ISO 14238-2003 Якість ґрунту. Біологічні методи. Визначання мінералізації азоту і нітрифікації в ґрунтах та впливу хімічних речовин на ці процеси (ISO 14238:1997, IDT)

ДСТУ ISO 14239-2001 Якість ґрунту. Лабораторні інкубаційні системи для вимірювання мінералізації органічних хімічних речовин у ґрунті за умов дії аеробних факторів (ISO 14239:1997, IDT)

ДСТУ ISO 14240-1-2003 Якість ґрунту. Визначання ґрунтової мікробної біомаси. Частина 1. Метод субстрат-стимульованого дихання (ISO 14240-1:1997, IDT)

ДСТУ ISO 14240-2-2003 Якість ґрунту. Визначання ґрунтової мікробної біомаси. Частина 2. Фумігаційно-екстракційний метод (ISO 14240-2:1997, IDT)

ДСТУ ISO 15473:2005 Якість ґрунту. Настанови з лабораторного випробування біодеградації органічних хімічних речовин у ґрунті в анаеробних умовах (ISO 15473:2002, IDT)

ДСТУ ISO 15685:2005 Якість ґрунту. Визначення потенціалу нітрифікації та інгібіторної дії на нітрифікацію. Експрес-аналіз окиснюванням амонію (ISO 15685:2004, IDT)

ДСТУ ISO 16072:2005 Якість ґрунту. Лабораторні методи визначення мікробного дихання ґрунту (ISO 16072:2002, IDT)

ДСТУ ISO 17155:2005 Якість ґрунту. Визначення чисельності та активності ґрунтової мікрофлори із застосуванням кривих дихання (ISO 17155:2002, IDT)

ДСТУ ISO 23753-1:2010 Якість ґрунту. Визначення дегідрогеназної активності ґрунтів. Частина 1. Метод з використанням трифенілтетразолхлориду (ISO 23753-1:2005, IDT)

ДСТУ ISO 23753-2:2010 Якість ґрунту. Визначення дегідрогеназної активності ґрунтів. Частина 2. Метод з використанням іодтетразолхлориду (ISO 23753-2:2005, IDT)

ГОСТ 17.0.0.01-76 Система стандартів в області охорони природи і удосконалення використання природних ресурсів. Основні положення

ГОСТ 17.0.0.02-79 Охорона природи. Метрологічне забезпечення контролю забрудненості атмосфери, поверхневих вод і ґрунту. Основні положення

ГОСТ 17.0.0.04-90 Охорона природи. Екологічний паспорт промислового підприємства. Основні положення

ГОСТ 17.6.1.01-83 Охорона природи. Охорона і захист лісів. Терминологія і визначення

ГОСТ 17.6.3.01-78 Охорона природи. Флора. Охорона і раціональне використання лісів зелених зон міст. Загальні вимоги

ГОСТ 17.8.1.01-86 Охорона природи. Ландшафти. Терминологія і визначення.

ГОСТ 17.8.1.02-88 Охорона природи. Ландшафти. Класифікація

ДСТУ-Н CEN Guide 13:2010 Настанови щодо підтвердження придатності методів випробування стану довкілля (CEN Guide 13:2008, IDT)

ДСТУ 3959-2000 Охорона довкілля та раціональне поводження з ресурсами. Методики біотестування води. Настанови

СТП 320.30019801.097-2003 Екологія. Порядок проведення контролю за роботою очисних споруд та скидом стічних вод на об'єктах ДК "Укртрансгаз"

СТП 320.30019801.088-2003 Екологія. Рекультивация земель, охорона флори та фауни при будівництві та експлуатації об'єктів газотранспортної системи

СТП 320.30019801.057-2002 Екологія. Проведення первинного обліку відходів на об'єктах ДК "Укртрансгаз"

ДСТУ ISO 14001:2006 Системи екологічного керування. Вимоги та настанови щодо застосування.

ДСТУ ISO 14004-97 Системи управління навколишнім середовищем. Загальні керівні вказівки по принципам управління, системам і засобам забезпечення



ДСТУ ISO 14004:2006 Системи екологічного управління. Загальні настанови щодо принципів, систем та засобів забезп

ДСТУ ISO 14001-97 Системы управления окружающей средой. Состав и описание элементов, руководящие указания по их применению

ГОСТ 29269-91 Почвы. Общие требования к проведению анализов.

ДСТУ ISO 11266-2001 Якість ґрунту. Настанови щодо лабораторного випробовування біодеградації органічних хімічних речовин у ґрунті в аеробних умовах (ISO 11266:1994, IDT)

ДСТУ ISO 15799:2005 Якість ґрунту. Настанови щодо встановлення екотоксикологічної характеристики ґрунтів та ґрунтових матеріалів (ISO 15799:2003, IDT)

ISO 257:2004 Пестициды и другие агрохимикаты. Принципы выбора общих названий

ДСТУ 44:2008 Агрохімікати. Встановлювання допустимих концентрацій шкідливих речовин

ГОСТ 14189-81 Пестициды. Правила приемки, методы отбора проб, упаковка, маркировка, транспортирование и хранение.

ДСТУ ISO 16072:2005 Якість ґрунту. Лабораторні методи визначення мікробного дихання ґрунту (ISO 16072:2002, IDT)

ДСТУ ISO 17155:2005 Якість ґрунту. Визначення чисельності та активності ґрунтової мікрофлори із застосуванням кривих дихання (ISO 17155:2002, IDT)

ДСТУ ISO 23753-1:2010 Якість ґрунту. Визначення дегідрогеназної активності ґрунтів. Частина 1. Метод з використанням трифенілтетразолхлориду (ISO 23753-1:2005, IDT)

ДСТУ ISO 23753-2:2010 Якість ґрунту. Визначення дегідрогеназної активності ґрунтів. Частина 2. Метод з використанням іодтетразолхлориду (ISO 23753-2:2005, IDT)

ГОСТ 29269-91 Почвы. Общие требования к проведению анализов

ДСТУ ISO 11266-2001 Якість ґрунту. Настанови щодо лабораторного випробовування біодеградації органічних хімічних речовин у ґрунті в аеробних умовах (ISO 11266:1994, IDT)

ДСТУ ISO 15473:2005 Якість ґрунту. Настанови з лабораторного випробування біодеградації органічних хімічних речовин у ґрунті в анаеробних умовах (ISO 15473:2002, IDT)

ДСТУ ISO 15685:2005 Якість ґрунту. Визначення потенціалу нітрифікації та інгібіторної дії на нітрифікацію. Експрес-аналіз окиснюванням амонію (ISO 15685:2004, IDT)

ДСТУ ISO 16072:2005 Якість ґрунту. Лабораторні методи визначення мікробного дихання ґрунту (ISO 16072:2002, IDT)

ДСТУ ISO 17155:2005 Якість ґрунту. Визначення чисельності та активності ґрунтової мікрофлори із застосуванням кривих дихання (ISO 17155:2002, IDT)

ДСТУ ISO 23753-1:2010 Якість ґрунту. Визначення дегідрогеназної активності ґрунтів. Частина 1. Метод з використанням трифенілтетразолхлориду (ISO 23753-1:2005, IDT)

ДСТУ ISO 23753-2:2010 Якість ґрунту. Визначення дегідрогеназної активності ґрунтів. Частина 2. Метод з використанням іодтетразолхлориду (ISO 23753-2:2005, IDT)

ДСТУ ISO 10712-2003 Якість води. Тест на пригнічення росту *Pseudomonas putida* (тест на пригнічення розмноження клітин *Pseudomonas*) (ISO 10712:1995, IDT)

ДСТУ 2156-93 Безпечність промислових підприємств. Терміни та визначення

ДБН

ДБН Б.2.4-3-95 Державні будівельні норми України. Генеральні плани сільськогосподарських підприємств.

ДБН В.2.4-2-2005 Полігони твердих побутових відходів. Основи проектування.

ДБН Планировка и застройка городских и сельских поселений.

ДБН А.2.2-1-2003 Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище(ОВНС) при проектуванні і будівництві підприємств, будинків і споруд.

ДБН А.2.2-3-2004 Проектування. Склад, порядок розроблення, погодження та затвердження проектної документації для будівництва.

Зміна №1 до ДБН А.2.2-1-2003\* «Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС) при проектуванні і будівництві підприємств будинків в споруд», розроблений в заміні ДБН А.2.2-1-2003.

## **ЗАКони**

Закон України "Про тваринний світ".

Закон України "Про природно-заповідний фонд України".

Закон України "Про пестициди і агрохімікати".

Закон України "Про охорону навколишнього природного середовища".

Закон України "Про основи містобудування".

Закон України "Про захист конституційних прав громадян на землю".

Закон України "Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення".

Закон України "Про рослинний світ".

Закон України "Про вилучення з обігу, переробку, утилізацію, знищення або подальше використання неякісної та небезпечної продукції".

Закон України "Про відходи".

Закон України "Про екологічний аудит".

Закон України "Про житлово-комунальні послуги".

Закон України "Про загальнодержавну програму поводження з токсичними відходами".

Закон України "Про металобрухт".

Закон України "Про охорону земель".

Закон України "Про приєднання України до Базельської конвенції про контроль за транскордонними перевезеннями небезпечних відходів та їх видаленням".

Закон України "Про хімічні джерела струму".

#### **КНД**

КНД 211.2.3.063-98 Керівний нормативний документ. "Охорона навколишнього природного середовища та раціональне використання природних ресурсів. Метрологічне забезпечення. Відбір проб промислових викидів. Інструкція."

#### **КОДЕКСИ**

Кодекс України про адміністративні правопорушення.

#### **ЛИСТИ**

Лист від 28.01.2008 р. N 1425/7/15-0817 Державним податковим адміністраціям в Автономній Республіці Крим, областях, мм. Києві та Севастополі "Про особливості адміністрування збору за забруднення навколишнього природного середовища у 2008 році".

Лист від 22.01.2008 р. N 613/5/15-0816 "Щодо сплати збору за спеціальне використання водних ресурсів".

Лист від 27.05.2008 р. N 15/2-3-319 "Щодо дотримання природоохоронного законодавства у сфері поводження з відходами".

Лист від 22.07.2004 р. N 31/20/1-5 "Щодо обліку викидів ртуті".

Лист від 23.09.2009 р. N14582/10/10-09 "Про підвищення ефективності робіт з державного управління в галузі охорони атмосферного повітря".

Лист від 05.10.2009 р. № 15494/20/10-09 Державним екологічним інспекціям територіальних органів та спеціальним підрозділам Мінприроди "Щодо скасування листів-роз'яснень щодо постанови КМУ від 20.06.95 N 440".

Лист Міністерства охорони навколишнього природного середовища України від 06.02.2008 р. № 1270/11/10-08 ПП "Науктехпром" "Щодо надання роз'яснень у галузі охорони атмосферного повітря".

Лист Міністерства охорони навколишнього природного середовища України від 30.01.2009 № 1127/11/10-09 "Щодо надання роз'яснень у галузі охорони атмосферного повітря".

Лист Міністерства охорони навколишнього природного середовища України від 11.05.2004 № 4539/17/1-8 "Про роз'яснення окремих положень "Інструкції про розгляд заявок та надання дозволів на виробництво, зберігання, транспортування, використання, захоронення, знищення та утилізацію отруйних речовин, у тому числі продуктів біотехнології та інших біологічних агентів".

Лист Державного комітету України з питань регуляторної політики та підприємництва від 18.03.2010 № 3337 "Щодо надання роз'яснення стосовно строку видачі дозволу на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря".

## **МЕТОДИКИ**

Методические указания по расчету количественных характеристик выбросов в атмосферу загрязненных веществ от основного технологического оборудования предприятий агропромышленного комплекса, перерабатывающих сырье жив-го происх-я(мяс-ты, клеевые, жел. з-ды). Руководство по проектированию санитарно-защитных зон промышленных предприятий.

Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86.

Методические указания по нормированию, учету и контролю выбросов загрязняющих веществ от хлебопекарных предприятий. Москва, 1996г.

Методические рекомендации по установлению границ санитарно-защитных зон существующих промышленных объектов, групп предприятий, производственных зон в условиях высокоплотной и жилой застройки.

Методические рекомендации. Установление границ и площадей, общих санитарно-защитных зон промышленных узлов и групп предприятий.

Методические указания по определению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу из резервуаров.

Определение опасности предприятия и ширины его СЗЗ с помощью номограммы.

Рекомендации по разработке проектов санитарно-защитных зон (СЗЗ) промышленных предприятий, групп предприятий.

Сборник методик по расчету выбросов в атмосферу загрязняющих веществ различными производствами.

Правила расчета выбросов при производстве металлопокрытий гальваническим способом.

Методические указания по расчету выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от неорганизованных источников для предприятия ПНО Якуталмаз.

Временные рекомендации "Фоновые концентрации для городов и поселков, где отсутствуют наблюдения за загрязнением атмосферы".

Методическое издание. Практикум по лицензированию сбора, использования, обезвреживания, транспортировки, размещения опасных отходов.

## **НАКАЗИ**

Наказ №108 "Про затвердження Інструкції про загальні вимоги до оформлення документів, у яких обґрунтовуються обсяги викидів, для отримання дозволу на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами для підприємств, установ...".

Наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища України від 08.11.2007 р. № 12052/11/10-07 "Щодо роз'яснень у галузі охорони атмосферного повітря".

Наказ від 19 червня 2002 року N 232 "Про затвердження переліків галузевих стандартів і прирівняних до них інших нормативних документів колишнього СРСР".

Наказ Державного комітету статистики України від 3 червня 2008 року N 172 "Про затвердження форм державних статистичних спостережень з охорони навколишнього природного середовища".

Наказ Державного комітету статистики України від 20 жовтня 2008 року N 396 "Про затвердження Інструкції щодо заповнення форм державних статистичних спостережень про охорону атмосферного повітря N 2-ТП (повітря) "Звіт про охорону атмосферного повітря" (річна) та N 2-ТП (повітря) "Звіт про охорону атмосферного повітря" (квартальна)".

Наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища України від 7 липня 2008 року N 342 "Про затвердження типової форми первинної облікової документації N 1-ВТ "Облік відходів та пакувальних матеріалів і тари" та Інструкції щодо її заповнення".

Наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища України від 10 вересня 2008 року N 464 "Про затвердження Порядку організації та проведення перевірок суб'єктів господарювання щодо дотримання вимог природоохоронного законодавства".

Коментар до наказу Міністерства охорони навколишнього природного середовища України від 10.09.2008 N 464 "Про затвердження Порядку організації та проведення перевірок суб'єктів господарювання щодо дотримання вимог природоохоронного законодавства".

Наказ Державного комітету статистики України від 13 листопада 2008 року N 452 "Про затвердження Методики розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у повітря від транспортних засобів".

Наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища та ядерної безпеки України від 17 лютого 1999 року N 41 "Про затвердження форми реєстрової карти об'єктів утворення, оброблення та утилізації відходів та Інструкції щодо її складання".

Наказ Державного комітету статистики України від 6 вересня 2000 року N 293 "Про затвердження методики розрахунку викидів забруднюючих речовин у повітря автотранспортом, який використовується суб'єктами господарської діяльності та іншими юридичними особами всіх форм власності".

Наказ Державного комітету статистики України від 9 грудня 2003 року N 439 "Про затвердження типової форми первинної облікової документації з обліку заходів щодо охорони атмосферного повітря N ПОД-2".

Наказ Державного комітету статистики України від 30 квітня 2004 року N 252 "Про затвердження Інструкції щодо заповнення типової форми первинної облікової документації N ПОД-2 "Журнал обліку виконання заходів з метою охорони атмосферного повітря".

Наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища та ядерної безпеки України від 10.02.95 № 7 "Про затвердження Інструкції про зміст та порядок складання звіту проведення інвентаризації викидів забруднюючих речовин на підприємстві".

Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України № 177 від 10.05.2002 "Про затвердження Інструкції про порядок та критерії взяття на

державний облік об'єктів, які справляють або можуть справити шкідливий вплив на здоров'я людей і стан атмосферного повітря, видів та обсягів забруднюючих речовин, що викидаються в атмосферне повітря".

Наказ Державного комітету статистики України від 30 грудня 2004 року № 674 "Про затвердження Інструкції щодо заповнення форм державних статистичних спостережень за станом атмосферного повітря № 2-ТП (повітря) (річна) та № 2-ТП (повітря) (квартальна) "Звіт про охорону атмосферного повітря".

Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України № 104 від 14.03.2002 "Про затвердження Переліку речовин, які входять до "твердих речовин" та "вуглеводнів" і за викиди яких справляється збір".

#### Постанови

Постанова від 19 березня 2008 р. N 212 Київ "Про затвердження критеріїв розподілу суб'єктів господарювання за ступенем ризику їх господарської діяльності для навколишнього природного середовища та періодичності здійснення заходів державного нагляду (контролю)".

#### СанПіН

СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов.

N 6025-91 от 21.10.91 Дополнение 3 к СанПиН от 4 июля 1988 г. N 4630-88.

ДСанПіН 2.2.7.029-99 "Гігієнічні вимоги щодо поводження з промисловими відходами та визначення їх класу небезпеки для здоров'я населення". Київ, 1999.

## СЛОВНИК ТЕРМІНІВ

Аеротенк, аеротанк (грец. — повітря і англ. tank — бак) — споруда для штучного біологічного очищення стічних вод за допомогою активного мулу (бактерії-мінералізатори та нижчі організми) і продування повітрям (аерації). Аеротенк являє собою бетонний проточний басейн глибиною 3—5 м, шириною 3—12 м і довжиною до 150 м. Повітря, що подається через закладені в дні аеротенка пористі пластинки (фільтроси), перемішує попередньо відстояну суміш стічної рідини і активного мулу, постачаючи кисень, потрібний для життєдіяльності бактерій, та окислюючи органічні забруднення. Активний мул випадає у вторинних відстійниках, звідки знову перекачується в аеротенк, а його приріст (завислі речовини) скидається для обробки (бродіння) з осадом первинних відстійників. Час перебування стічної рідини в аеротенку 6—12 годин.

Антропогенні фактори – тіла, речовини, процеси та явища, які виникають внаслідок господарської та іншої діяльності людини і діють на природу разом з факторами природними.

Антибіотики (лат. "Anti" – проти + грец. "Bios" – життя) – речовини природного або напівсинтетичного походження, що пригнічують ріст живих клітин, найчастіше прокариот або найпростіших (в т.ч. бактерій, вірусів тощо).

Бактеріофаг (скор. фаг) – вірус, що інфікує бактерію. Його видозмінені форми використовуються як клонуючі вектори.

Біобензин – різновид біопалива: суміш бензину з етиловим або бутиловим спиртом.

Біобутанол – різновид біопалива; бутиловий спирт, одержуваний біотехнологічним способом з цукрової тростини, буряка, кукурудзи, пшениці, маніоки, целюлози тощо.

Біоводень – водень, отриманий з біомаси.

Біовилуговування – відновлення металів з руди шляхом використання мікроорганізмів.

Біогаз – газ, одержаний метановим бродінням біомаси (суміш  $\text{CH}_4$  і  $\text{CO}_2$ ).

Біогеотехнологія – використання геохімічної діяльності мікроорганізмів в гірничодобувній промисловості.

Біогідрометалургія – добування металів із сировини з використанням хімічних реакцій у водних розчинах.

Біодеградація – процес, за якого органічні речовини руйнуються ферментами, що виробляються живими організмами.

Біодизель – біопаливо на основі рослинних або тваринних жирів (масел), а також продуктів їх етерифікації.

Біовилучення – використання мікроорганізмів для вилучення цінних матеріалів (металів або органічних сполук) із складних сумішей.

Біоіндикація – оцінка якості середовища існування або її окремих характеристик за станом біоти у природних умовах. Використовуючи біоіндикацію можна оцінити ступінь забруднення навколишнього середовища, здійснювати постійний контроль (моніторинг) його якості та змін.

Головна мета біоіндикації – діагностика стану екосистем шляхом встановлення здатності організмів до адаптації у відповідних умовах довкілля.

Основним завданням біоіндикації є виявлення видів-біоіндикаторів, які реагують на зміни у стані довкілля, що виникли під дією природних і антропогенних факторів, і добір індикаторів-тестерів з високим порогом чутливості до змін у стані довкілля.

Біоіндикатори – види, групи видів або угруповання, за наявності, ступеню розвитку, зміні морфологічних, структурно-функціональних, генетичних характеристик які роблять висновок про стан довкілля. Як біоіндикатори часто виступають лишайники та мохоподібні, у водних екосистемах — угруповання бактеріопланктону, фітопланктону, зоопланктону, зообентосу, фітобентосу, перифітону.

Біоіндикаційні дослідження поділяються на два рівні: видовий і біоценотичний.

Біоіндустрія (див. Біотехнологія промислова).

Біоінженерія – спрямована модифікація властивостей живих організмів, здійснювана на генетичному та / або епігенетичному рівні. Застосовується до мікроорганізмів, рослинам і тваринам.

Біокластер – об'єднання підприємств, постачальників обладнання, комплектуючих, спеціалізованих виробничих та сервісних послуг, науково-дослідних та освітніх організацій у сфері біотехнологій, пов'язаних відносинами територіальній близькості і функціональної залежності в процесі виробництва і реалізації товарів і послуг.



Біоконверсія – перетворення однієї хімічної сполуки в інше живими організмами (відрізняється від обробки ферментами, фіксованими клітинами або дії хімічних процесів).

Біологічна безпека (скор. Біобезпека) – збереження живими організмами своєї біологічної сутності, якостей, системоутворюючих зв'язків і характеристик, запобігання широкомасштабної втрати біологічної цілісності.

Біологічно активні речовини (БАР) – загальна назва речовин, що мають виражену фізіологічну активність.

Біологічні засоби захисту рослин – організми, мікробіологічні препарати та інші біологічні засоби, що застосовуються для боротьби зі шкідливими для сільськогосподарських культур організмами.

Біологічне різноманіття (скор. Біорізноманіття) – різноманітність життя у всіх її проявах, представлене трьома рівнями: генетична різноманітність (різноманітність генів і їх варіантів – алелей), різноманітність видів, різноманітність екосистем.

Біомаса – сукупна маса рослинних і тваринних організмів, присутніх в біогеоценозах в момент спостереження; поновлювані джерела органічного матеріалу, який може бути використаний як паливо і для промислового виробництва.

Біомаса інактивована – стерилізована біомаса (кормові дріжджі, грибний міцелій та ін.).

Біоматеріал – 1) матеріал з живих тканин; 2) синтетичний або природний матеріал, що використовується в медичному пристрої або в контакті з біологічними системами.

Біомедицина – збірний термін, що позначає напрямок на стику двох наук – медицини та біології. В її основі лежить використання для вирішення медичних проблем ідей і технологій, розроблених в біохімії, імунології, клітинній біології та інших біологічних науках.

Біонафта – біопаливо другого покоління, яке синтезується з біомаси шляхом глибокої хімічної переробки (на основі піролізу).

Біопестициди – з'єднання, яке вбиває організми в результаті специфічного біологічної дії, а не як хімічні отрути.

Біопластик (або органічний пластик) – форма пластика, виробленого з відновлюваної біомаси (рослинних масел, кукурудзи та ін.). Мається на увазі біодеградуючі різновиди.

Біоплівка – шар мікроорганізмів, що розвиваються на поверхні полімерного матеріалу.

Біополімери – клас полімерів, що зустрічаються в природі в природному вигляді, що входять до складу живих організмів: білки, нуклеїнові кислоти, полісахариди.

Біопрепарат – будь-який медичний препарат, що походить з живих організмів або їх продуктів.

Біопродукти – матеріали, хімікати і енергія, одержувані з поновлюваних біологічних джерел.

Біореактор – пристрій, що здійснює перемішування культурального середовища в процесі мікробіологічного синтезу. Розрізняють механічні, аерліфтний і газо-вихрові біореактори.

Біоремедіація – комплекс методів очищення вод, ґрунтів і атмосфери з використанням метаболічного потенціалу живих організмів (рослин, грибів, комах, бактерій та ін.) або їх ферментів.

Біорефайнері (англ. "Biorefinery") - біозавод; підприємство, що здійснює конверсію біомаси та виробляє паливо, енергію та хімічні речовини в повному циклі.

Біосенсор (син. – "Біодатчик") – пристрій, в якому чутливий шар, що містить біологічний матеріал, безпосередньо реагує на присутність певного компонента і генерує відповідний сигнал.

Біотестування – це експериментальне визначення, оцінка дослідним шляхом впливу факторів (фізичних, хімічних, фізико-хімічних) або групи шкідливих факторів на живі організми шляхом реєстрації змін того чи іншого біологічного показника (фізіологічного, біохімічного, цитогенетичного та ін.), що спостерігається в піддослідному тест-об'єкті (індикаторі) порівняно з контрольним у чітко заданих (тобто стандартних, лабораторних) умовах.

Біотестування також виявляє реакцію організму на певний вид забруднення. Воно допомагає коригувати розрахунки ГДК забруднювачів у стічних водах тоді, коли їх розбавлення у водному об'єкті не забезпечує допустимого рівня.

Біотехнологія (технологія живих систем) – 1) дисципліна, що вивчає можливості використання живих організмів, їх систем чи продуктів їх життєдіяльності для вирішення технологічних завдань, а також можливості створення живих організмів з необхідними властивостями методом генної інженерії; 2) виробниче використання біологічних структур для отримання харчових та промислових продуктів і для здійснення цільових перетворень. Біологічні структури в даному випадку – це мікроорганізми, рослинні і тваринні клітини, клітинні компоненти: мембрани клітин, рибосоми, мітохондрії, хлоропласти, а також біологічні макромолекули (ДНК, РНК, білки – найчастіше ферменти).

Біотехнологія "біла" – виробництво біопалив, ферментів і біоматеріалів для різних галузей промисловості.

Біотехнологія ветеринарна – частина сільськогосподарської біотехнології, предметною областю якої є використання біотехнології для лікування тварин.

Біотехнологія "зелена" – розробка та впровадження в агрокультуру генетично модифікованих рослин.

Біотехнологія "червона" – виробництво біофармацевтичних препаратів (протеїнів, ферментів, антитіл) для людини, а також корекція генетичного коду.

Біотехнологія лісова – розділ біотехнології, що займається збереженням і прискореним відтворенням лісових біоресурсів.

Біотехнологія медична – розділ біотехнології, що займається виробництвом біофармацевтичних препаратів, виробів медичного призначення, продуктів лікувального харчування (див. Також "Біотехнологія" червона ").

Біотехнологія морська – розділ біотехнології, що займається питаннями вивчення гідробіонтів, переробки морепродуктів, розведення промислової морської фауни і флори в марікультурі.

Біотехнологія харчова (харчова біоіндустрія) – розділ біотехнології, що займається розробкою теорії і практики створення харчових продуктів загального, лікувально-профілактичного призначення та спеціальної орієнтації.

Біотехнологія прикладна – розділ біотехнології, який здійснює практичне застосування досягнень цієї науки.

Біотехнологія природоохоронна (екологічна біотехнологія) – розділ біотехнології, що займається вирішенням екологічних проблем біотехнологічними методами.

Біотехнологія промислова – практична гілка біотехнології, що здійснює широкомасштабне виробництво біопродуктів по всіх секторах біотехнології (медичному, харчової, сільськогосподарської, енергетичного, екологічного та ін.) (див. також "Біотехнологія "біла").

Біотехнологія сільськогосподарська – розділ біотехнології, що займається питаннями теорії, методології та практики застосування її досягнень у рослинництві і тваринництві (див. також "Біотехнологія "зелена").

Біопаливні елементи – джерела живлення, що використовують енергію з живого організму; призначені для живлення імплантуються медичних приладів.

Біопаливо – паливо з біологічної сировини, одержуване, як правило, шляхом переробки стебел цукрового очерету або насіння ріпаку, кукурудзи, сої та ін. Розрізняють рідке біопаливо (для двигунів внутрішнього згоряння - етанол, біодизель), тверде (дрова, солома) і газоподібне (біогаз, водень).

Біодобрива – екологічно чисті добрива, одержувані з біогумусу і натуральних органічних речовин.

Біоекополіс – мале поселення, вписане в екологічно чистий ландшафт, створене із застосуванням біотехнологічних способів ведення аграрного господарства, з швидкоспорудженими, дешевими і енергоефективними будинками-садибами.

Біоенергетика – сфера діяльності по забезпеченню енергетичних потреб людини, заснована на принципах або ресурсах живої природи, спрямована на збереження природного енергетичного та матеріального балансу навколишнього природного середовища.

Біоетанол – етиловий спирт, одержуваний з біомаси шляхом спиртового бродіння органічних продуктів, що містять вуглеводи, під дією ферментів дріжджів і бактерій. Як моторне паливо використовується у вигляді присадок або в чистому вигляді.

Вермикультура (від лат. Vermis – черв'як) – це промислове розведення черв'яків для поліпшення ґрунту та підвищення врожайності.

Вермикомпост (біогумус) ефективно використовується для підвищення родючості виснажених малопродуктивних ґрунтів і для одержання екологічно чистої сільгосппродукції.

Вермикомпостування – компостування за допомогою земляних черв'яків.

Генно-модифікований організм – організм або кілька організмів, будь неклітинні, одноклітинне або багатоклітинне утворення, здатне до відтворення або передачі спадкового генетичного матеріалу, відмінні від природних організмів, отримані із застосуванням методів генної інженерії та містять генно-інженерний матеріал, у тому числі гени, їх фрагменти або комбінації генів.

Генна інженерія (генетичні модифікації) – сукупність методів і технологій, у тому числі технологій отримання рекомбінантних рибонуклеїнових і дезоксирибонуклеїнових кислот, з виділення генів з організму, здійсненню маніпуляцій з генами та введенню їх в інші організми.

Генна терапія (генотерапія) – сукупність генно-інженерних (біотехнологічних) і медичних методів, спрямованих на внесення змін в генетичний апарат соматичних клітин людини з метою лікування захворювань.

Генно-інженерна діяльність – діяльність, що здійснюється з використанням методів генної інженерії з метою створення генно-інженерно-модифікованих організмів.

Діагностикуми – стандартні набори реактивів для діагностики.

Індустрія живих систем (див. Біотехнологія промислова).

Індустрія нанотехнологій - промислове виробництво, здійснюване в наношкалі. Являє собою частину індустрії неживих систем.

Індустрія неживих систем - промислові виробництва, що мають справу з неживими системами і об'єктами.

Клітинні технології – медичні технології з використанням стовбурових клітин.

Кормові добавки – білково-вітамінні, мінеральні та інші добавки, застосовувані при нестачі в раціонах тварин деяких кормових інгредієнтів.

Лізин – незамінна амінокислота, широко використовується в якості кормової добавки.

Марикультура (лат. "Mare" – "море" + культура) (син. – "Таласокультура", термін на грецькій основі) – штучне вирощування морських промислових організмів – тварин і водоростей – в природних і штучних водоймах.

Метант́енк, метант́анк (рос. метантанк, англ. methane tank) — штучний резервуар великої ємності (до декількох тис. м<sup>3</sup>) для біологічної переробки (так званого метанового зброджування за допомогою бактерій-мінералізаторів та інших мікроорганізмів) органічного осаду стічних вод без доступу повітря.

Окситенк – споруда для біологічного очищення стічних вод (переважно від розчинених органічних речовин) за допомогою аеробних бактерій з використанням кисню.

Поля зрошення — спеціально підготовлені земельні ділянки, які зрошуються стічними водами при одночасному вирощуванні сільськогосподарських культур (овочевих і ягідних). Поля зрошення іноді використовують для фільтрування стічних вод.

Поля фільтрації (поля аерації) — ділянка землі, на поверхні якої розподіляють каналізаційні та інші стічні води з метою їх очищення; різновид водоочисної споруди.

Септик – це елемент локальної очисної споруди, застосовується на стадії проектування та будівництва комплексних систем локальної очистки побутових і господарських стічних вод. Септик, як такий, не є закінченою очисною спорудою і застосовується згідно з діючими нормами і правилами. При роботі очисної споруди необхідно використання методів ґрунтового доочищення.

Трансгенні організми – тварини, рослини, мікроорганізми, віруси, генетична програма яких змінена з використанням методів генної інженерії.

Фіторемедіація – комплекс методів очищення стічних вод, ґрунтів та атмосферного повітря з використанням зелених рослин. Один з напрямків більш загального методу біоремедіації.

## ГОЛОВНІ ПОДІЇ В ІСТОРІЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ БІОТЕХНОЛОГІЇ

1590 р. — Янсоном сконструювано перший складний мікроскоп.

1688 р. — Реді опублікував праці про самозародження личинок.

1838-1839 рр. — Шван та Шлейден запропонували клітинну теорію.

1857 р. — Пастер довів, що молочно-кисле бродіння викликають мікроорганізми.

1861 р. — Пастер довів, що мікроорганізми не виникають внаслідок самозародження.

1867 р. — Лістер опублікував роботи з антисептичної хірургії.

1868 р. — Рейтер ввів термін екології (від лат. «ойкос» – житло)

1876 р. — Кох довів, що туберкульоз спричиняє *Bacillus anthracis* (паличка Коха).

1884 р. — Грам класифікував бактерії.

1888 р. — Бейерінк виділив бульбочкові бактерії.

1892 р. — Івановський надав докази досліджень про виникнення хвороби тютюнової мозаїки.

1899 р. — Бейерінк довів, що хворобу мозаїки тютюну спричиняє вірус.

1902 р. — Ланштайнер відкрив групи крові.

1903 р. — Райт та інші відкрили наявність антитіл в крові імунізованих тварин.

1921 р. — Перше видання визначника «Бактерій» Бергі.

1928 р. — Гріффіт відкрив явище трансформації.

1929 р. — Флемінг відкрив пеніцилін.

1930 р. — В Бельгії в долині річки Маас від промислового забруднення повітря загинуло 60 людей.

1933 р. — Руска сконструював трансмісійний електронний мікроскоп.

1941 р. — Біدل та Татум висунули гіпотезу «один ген — один білок».

1944 р. — Евері показав, що ДНК передає інформацію шляхом трансформації.

1946 р. — Ледерберг та Татум описали явище бактеріальної кон'югації.

1948 р. — Вбивчий смог в місті Донора, штат Пенсільванія. Ранком 26 жовтня 1948 р. густий туман (смог) огорнув м. Донора (штат Пенсільванія, США). Із суміші туману з димом і кіптявою почала випадати сажа, що покрила будинки, тротуари і бруківки чорним покривалом. Дві доби видимість була настільки поганою, що жителі ледве знаходили дорогу додому. Невдовзі до лікарів звернулося багато пацієнтів, що скаржилися на недостачу повітря, нежить, кашель, різь в очах і нудоту. Протягом наступних чотирьох днів, до першого дощу, занедужало 5910 чоловік з 14 тис. жителів міста. Двадцять чоловік умерло. Загинуло багато собак, кішок, птахів.

1952 р. — Хейші та Чейз продемонстрували вигляд бактеріофага.

1952 р. — Погляд на походження життя Опарінім та Холдейном.

1953 р. — Міллер провів перший успішний дослід, який експериментально показав походження органіки в первісних умовах на Землі.

1953 р. — Створення фазово-контрасної мікроскопії.

1953-1960 рр. — Випадки отруєння морськими продуктами, які містили ртуть (затока Мінамата).

1955 р. — Жакоб та Волмен відкрили, що Ф-фактор – це плазмід.

1955 р. — Джерн та Бурнет запропонували теорію клональної селекції.

1960 р. — Публікація книги «Безмовна весна» Рейчел Карлсон (у США ДДТ (дуст) заборонили в 1972 році після того, як з'ясувалося, що він є причиною виникнення раку, сприяє народженню хворих дітей, змінює генетичну структуру людини, впливає на репродуктивні функції тощо. ДДТ здатен накопичуватися в жирових тканинах, отож при повторному впливі під час руху по харчових ланцюжках ефект кожного разу посилюється з непередбачуваними наслідками).

1961 р. — Жакоб та Моно запропонували оперонну модель регуляції генів.

1961-1966 рр. — Нейренбург, Хорана та інші висвітлили генетичний код.

1966 р. — зіткнення американського бомбардувальника з термоядерною зброєю на борту та повітряного танкера.

1967 р. — вилив нафти в протоці Ла-Манш.

1970 р. — Арбер та Сміт відкрили рестрикційні ендонуклеази.

1970 р. — Танін та Балтімор відкрили зворотню транскриптазу.

1972 р. — На конференції ООН була створена «Програма ООН з навколишнього середовища».

1973 р. — Чакрабарті та інші з'ясували включення ОСТ плазмиди в деградацію н-алканів.

1975 р. — Колер і Мілстейн опублікували повідомлення про розробку гібридомної технології для отримання моноклональних антитіл, здатних розпізнавати специфічні, спеціально вибрані антигени.

1977 р. — Визнання Архей, як окремого мікробного домена.

1979 р. — Синтез інсуліну за допомогою техніки рекомбінантних ДНК.

1980 р. — Розроблено скануючу тунельну мікроскопію.

1982-1983 рр. — Лок та Олтмен відкрили каталітичну РНК.

1983-1984 рр. — Малліс відкрив полімеразно-ланцюгову реакцію.

1984 р. — Бейлі та Барбур визначили ТОL-плазмиду.

1986 р. — П'ять вакцин (вакцини від гепатиту В) вироблено за допомогою генетичної інженерії та було затверджено їх використання для людини.

1990 р. — Розпочалися перші тестування беззмстовної генної терапії людини.

1992 р. — Конференція ООН з навколишнього середовища та розвитку.

1992 р. — Перше застосування людиною антисмислової терапії (антисмислова терапія (англ. Antisense therapy) – метод лікування, заснований на виключенні/зупинці синтезу білка, що бере участь у розвитку захворювання, шляхом інгібування трансляції його матричної РНК за допомогою



комплементарних до неї коротких нуклеотидних послідовностей (антисмислових олігонуклеотидів).

1995 р. — Прийнятий Берлінський мандат (напередодні Кіотського протоколу).

1997 р. — Затверджено Кіотський протокол (Кіотський протокол – це міжнародна угода, покликана скоротити викиди парникових газів для зниження антропогенного впливу на кліматичні зміни).

2001 р. — зустріч в Марракеш стосовно парникового ефекту встановила кінцеві результати від 29 жовтня 2001 року.

2002 р. — Індія затвердила та установила протокол від серпня 2002 року.

2005 р. — Вступив в дію Кіотський протокол, який був затверджений 16 січня 2005 року.

2006 р. — У США оголошено про технологічний прорив у справі створення «зеленого бензину», що виробляється з рослинної сировини. Університет Массачусетс в Амхерсті (University of Massachusetts - Amherst) повідомив про розробку методу прямої переробки целюлози в основні компоненти автомобільного бензину.

Розроблено новий клас синтетичних молекул - пептоїдів, що мають високу антимікробну активність. В даний час пептоїди тестують на моделях бактеріальних інфекцій тварин.

Міждисциплінарна група дослідників з Медичного Центру Університету у Стоуні - Брук (Stony Brook University Medical Center) (США) виявила сімейство генів, пов'язаних з розвитком раку печінки, або так званої гепатоцелюлярної карциноми.

2007 р. — Група дослідників із Університету Чикаго (University of Chicago) розшифрувала тривимірну структуру білка, який відновлює ДНК пухлинних клітин у разі її ушкодження, репаруючи ті, які можуть бути результатом протиракової терапії.

2008 р. — Дослідники з Schepens Eye Research Institute (США) виявили в тканинах мозку специфічні молекули, необхідні для активації стовбурових клітин, які можуть давати початок нейронам і відновлювати таким чином ушкоджену нервову тканину.

2009 р. — Група дослідників з Університету Уельва (Іспанія) розробила екологічно безпечне машинне (консистентне) мастило на основі рицинової олії і похідних целюлози вчені з Бостонського університету та Національного Інституту Здоров'я в США (НИ) розробили новий метод виявлення функціональних областей геному, заснований на вивченні просторової структури ДНК.

Біоінженер Франк Алексіс (Frank Alexis) з Університету Клемсона в США (Clemson University) розробив нові, більш безпечні способи транспортування лікарських препаратів в організм.

Вчені з Університету Торонто (University of Toronto, UofT) використали наноматеріали для розробки високочутливого чіпу, за допомогою якого можна

визначати тип і ступінь тяжкості онкологічного захворювання на ранніх стадіях процесу.

2010 р. — Компанія Bionic Vision Australia (BVA) розробила концепцію протезу сітчастої оболонки ока, або так званого «біонічного ока», який дозволить зберегти зір людям з дегенеративними або спадковими захворюваннями сітківки.

2011 р. — Вчені Малайзії дослідили можливість виявлення пестицидів за допомогою квантових точок ZnCdSe, про що було повідомлено на сторінках журналу *Advances in Natural Sciences : Nanoscience and Nanotechnology*.

2012 р. — Канадські біологи розробили методику одержання білків - ферментів людини у кукурудзі. Новий підхід дозволить здешевити виробництво препаратів ферментозамінної терапії для лікування лізосомних хвороб накопичення.

2013 р. — Дослідники з Оксфордського Університету (Oxford University, Велика Британія) представили тривимірний принтер, здатний створювати матеріали з деякими властивостями живих тканин.

Вчені з Університету Міссурі (University of Missouri, США) створили компактне джерело рентгенівського та інших видів випромінювання, який наближає час появи ручних сканерів (або трікордерів — універсальних приладів, які дозволяють проводити різні вимірювання).

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бернард М. Наука про навколишнє середовище. - М.: Світ, 1993.  
Болбас М.М. Основи промислової екології. Москва: Вища школа, 1993.
2. Биоремедиация отходов нефтехимического производства с использованием компостирования / Е. В. Никитина и др. // Биотехнология. – 2006. - № 1. - С. 53-61.
3. Бринчук В.А. Экологическое право. / В.А. Бринчук - М.: Просвещение, 1996.
4. Владимиров А.М. и др. Охрана окружающей среды / А.М. Владимиров // Санкт-Петербург: Гидрометеиздат 1991.
5. Дорст Ш., Возная Н. Ф. Химия и микробиология воды. - М.: Высшая школа, 1997. -150 с.
6. Глик Б., Пастернак Дж. Молекулярная биотехнология / Б. Глик, Дж. Пастернак // Принципы и применение. – М.: Мир, 2002.
7. Екологічна біотехнологія. Навчальний посібник для студентів спеціальності біотехнологія. / Гуляєв В.М., Волошин М.Д. - Дніпропетровськ: 2006. – 126 с.
8. Екологія, навколишнє середовище і людина / під ред. Ю. В. Новікова. Видавничо-торговий дім «Гранд», Москва, 1998.
9. Елинов Н.П. Основы биотехнологии / Н.П. Елинов Изд. Наука, СПб, 1995.-600с.
10. Ігнатюк О. А. Основні екологічні принципи та концепції: Навч. посіб. – К.: ВПІ ВПК «Політехніка», 2006.– 268 с.
11. Комягина В.М. Екологія і промисловість / В.М. Комягина // М., Наука, 2004.
12. Коцубинский А.О. Проблемы производства / Коцубинский А.О. // М., Наука, 2001.
13. Кузнецов А.Е. Научные основы экибиотехнологии / А.Е. Кузнецов, Н.Б. Градова– Учебное пособие. - М.: Мир, 2006. - 504 с.
14. Ласков Ю.М., Примеры расчетов канализационных сооружений / Ю.М. Ласков, Ю.В. Воронов, В.И. Калицун / М.: Высшая школа, 2001.-232 с.
15. Ливчак І.Ф., Охорона навколишнього середовища. / І.Ф. Ливчак, Ю.В. Воронов - М., Наука, 2000.
16. Львович М. І. Вода і життя. / М. І. Львович // М.: Наука, 2002.
17. Міланова Є. В., Використання природних ресурсів охорона природи / Є. В. Міланова, А. М. Рябчиков // М.: Вищ. шк., 1986. 280 с.
18. Мигунова А. Популяционная изменчивость тройственной симбиотической системы: *Paramecia bursaria*, зоохлорелла, поражающие ее вирусы / Мигунова А., Гапонова И., Воробьев К.П., Фирсов М.А, Раутиан М.С., Карелов Д.В., Андронов Е.Е. // Эколог. генетика, 2004. Том. II, № 4, стр. 29-39.
19. Михальський Л.О. Практикум із загальної мікробіології / Михальський Л.О., Радченко О.С., Степура Л.Г. / Київ: Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2001. – 112 с.

20. Михальський Л.О. Методичні рекомендації та практичні завдання до лабораторних робіт з курсу “Мікробіологія” / Л.О. Михальський, І.М. Фуртат // Київ: Національний університет “Києво-Могилянська академія”, 2000. – 43 с.
21. Пітерс А. Розливи нафти та навколишнє середовище / Пітерс А. // Екологія - 2006 - № 4.– 15 с.
22. Практикум з мікробіології: методичні рекомендації / Віннікова О. І., Моргуль І. М. – 2-ге вид., доповнене. – Х.: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2009. – 33 с.
23. Практикум по химии воды / А. Т. Таубе. - М.: Высшая школа, 2011 . – 325 с.
24. Прикладная экобиотехнология: учебное пособие. В 2 т. 2-е изд. Кузнецов А.Е., Градова Н.Б., Лушников С.В. – М. БИНОМ, Лаборатория знаний, 2010 .– 620 с.
25. Проектирование очистных сооружений для очистки сточных вод. Справочное пособие к СНиП. М.:Стройиздат, 1990.
26. Радзевич М.М. Охрана и превращение природы / Радзевич М.М., Пашканг К.В.// М.: Просвещение, 2001.
27. Родионов А.И. Технологические процессы экологической безопасности /Основы энвайронменталистики/ А.И. Родионов, В.Н. Клушин, В.Г. Систер: Учебник для студентов технических и технологических специальностей. 3-е изд., Калуга: Издательство Н.Бочкаревой, 2000.-800с.
28. Сафонова Е.Ф. Микробиологические основы технологии ремедиации нефтезагрязненных природных и сточных вод. Проблемы и перспективы реабилитации техногенных экосистем / Е.Ф. Сафонова, М.И. Янкевич // Астрахань: Информ.-издательский центр АГТУ, 2005. – 97 с.
29. Скорик А. Нафтогазоносні комплекси Причорноморсько-Кримської нафтогазоносної провінції // [www.geofuel.lviv.net/ANNIV/sab139.htm](http://www.geofuel.lviv.net/ANNIV/sab139.htm) - 8к.
30. Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды / под ред.. Л. А. Кульского. - К.: Наукова думка, 1998. - 680 с.
31. Строительные нормы и правила. СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и очистные сооружения. М.:1986.
32. Форстер К.Ф., Вейз Д.А.Дж.. Экологическая биотехнология / К.Ф. Форстер, Д.А.Дж. Вейз. // Л., Химия, 2009.-384с.
33. Хиггинс И. Биотехнология: принципы и применение / Хиггинс И., Бич Г, Бест Д. и др. // М.: Мир, 1988. - 480 с.
34. Чернова Н.М. /Экология // Чернова Н.М., Билова А.М. СПб., Знание, 1999.
35. Шевелуха В.С. Сельскохозяйственная биотехнология / В.С. Шевелуха, Е.А. Калашникова, Е.З. Кочиева и др.// 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Высш. шк., 2008. - 710 с.: илл.
36. Ясюк В.М. Інвестиційна привабливість проектів розробки морських родовищ українського сектору Чорного та Азовського морів [www.gasunion.org.ua/visnyk\\_2\\_yasyuk.htm](http://www.gasunion.org.ua/visnyk_2_yasyuk.htm) - 22к.

*Для нотаток*

*Кляченко Оксана Леонідівна,  
Мельничук Максим Дмитрович,  
Іванова Тетяна Василівна*

# ЕКОЛОГІЧНІ БІОТЕХНОЛОГІЇ: ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА

Навчальний посібник

Підписано до друку 30.06.15.  
Формат 84x60/16. Папір офсетний.  
Друк цифровий. Гарнітура Times New Roman.  
Умов. друк. арк. 15,87. Обл.-вид. арк. 14,76.  
Наклад 300 прим. Зам. № 8894

Віддруковано з оригіналів замовника.  
ФОП Корзун Д.Ю.

Видавець та виготовлювач ТОВ «Нілан-ЛТД»  
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до  
Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів  
видавничої продукції серія ДК № 4299 від 11.04.2012 р.  
21027, а/я 8825, м. Вінниця, вул. 600-річчя, 21.  
Тел.: (0432) 69-67-69, 603-000.