

Лекція № 5

Гідросфера. Забруднення водоймищ та їх охорона

1. Характеристика гідроресурсів і стічних вод
2. Забруднення водоймищ
3. Замкнуті водооборотні системи
4. Методи очищення стічних вод

1. Характеристика гідроресурсів і стічних вод

Гідросфера — водна оболонка Землі — сукупність океанів, морів, озер, ставків, боліт і підземних вод; найтонша оболонка нашої планети, що становить лише 10^{-3} % від загальної її маси.

Роль води у всіх життєвих процесах загальновідома. Наприклад, людина без води не може прожити більше 8 днів, а за рік вона на свої потреби витрачає близько 1 т води. Основний споживач прісної води — сільське господарство: вона йде на меліорацію, обслуговування тваринницьких комплексів і т. ін. Для вирощування 1 т пшениці необхідно 1500 т води, 1 т рису — 7000, 1 т бавовни — 10 000 т.

Вода необхідна практично всім галузям промисловості. На виробництво 1 т чавуну потрібно 50—150 т води, 1 т пластмаси — 500—1000, 1 т цементу — 4500, 1 т паперу — 100 000 т. На електростанціях потужністю 300 тис. кВт витрати води становлять 300 млн т/рік.

Перелічені виробництва споживають тільки прісну воду. Розрахунки показують, що прісна вода на планеті становить лише 2,5 % від усіх запасів води, 85 % — це солоня вода морів і океанів, що містить до 35 г/л солей. Запаси прісної води на Землі розподілені вкрай нерівномірно: 72,2 % — льоди, 22,4 % — ґрунтові води, 5,05 % — стійкий стік річок і вода озер, 0,35 % — атмосферна вода. У свою чергу, на частку прісної води, яку людство може використовувати, припадає всього 10^{-2} % прісної води на Землі.

Спостерігається постійне зростання водоспоживання як на виробничі, так і на побутові потреби людей. У середньому в містах з населенням понад 1 млн осіб споживається води (л/добу на людину): у Москві — 400, у Лондоні — 170, у Санкт-Петербурзі — 500, у містах США — 200, у Парижі — 130, у Берліні — 250, у Брюсселі — 85.

Інтенсивна господарська діяльність людини призвела до деградації гідросфери — забруднення і виснаження поверхневих і підземних вод.

Виснаження вод — неприпустиме скорочення їх запасів у межах певної території (для підземних вод) або зменшення мінімально допустимого стоку (для поверхневих). І те, й інше призводить до несприятливих екологічних наслідків, порушує зв'язки, що склалися в системі "людина — біосфера".

Практично у всіх великих містах світу, де підземні води тривалий час експлуатувалися могутніми водозаборами, виникли значні *депресивні воронки* (пониження) з радіусами 20 км і більше, їх утворення може, у свою чергу, викликати повільне осідання і деформацію земної поверхні. У Москві глибина депресії досягає в окремих районах міста 110 м.

За даними Мінприроди України, в 90-х роках в Україні підземні водозабори досягали 30 000 млн м³ на добу. Як наслідок, на значних територіях різко змінилися умови взаємозв'язку підземних вод з іншими компонентами природного середовища, порушилося функціонування наземних екосистем (скорочення річкового стоку, висихання джерел, струмків і невеликих річок, осушення заболочених територій з великою видовою різноманітністю рослинності, загибель лісів, вологолюбної рослинності — гідрофітів та ін.).

Виснаження поверхневих вод виявляється в прогресуючому зниженні їх мінімально допустимого стоку. Цей процес пояснюють зменшенням рівня водності та чистоти малих річок (завдовжки не більше 100 км), найуразливішої ланки в річкових екосистемах. Саме вони виявилися сприйнятливими до антропогенної дії. Нині стан малих річок і озер в Україні катастрофічний. Стік малих річок знизився більш ніж наполовину, якість води в них незадовільна. Значна їх частина повністю припинили своє існування.

Виснаження вод (поверхневих і підземних) зумовлене вилученням на господарські потреби великої їх кількості. Прикладом може бути трагедія Аральського моря внаслідок неприпустимо високого забору води на зрошення з Амудар'ї і Сирдар'ї. Осушене дно Аралу стало сьогодні найбільшим джерелом пилу і солей, а зміну приаральського ландшафту можна охарактеризувати як спустелювання; людина "своїми руками" створює на Землі нову пустелю.

До інших значних видів впливу людини на гідросферу слід віднести створення великих водосховищ, які докорінно змінюють природне середовище на прилеглих територіях (такі як Кременчуцьке, Київське та ін.). Це затоплення значних площ родючих земель, зміна режиму підземних вод, руйнування берегів (зсуви, карст), активація сейсмічної діяльності, підтоплення прилеглих територій, припинення природного відтворення багатьох цінних порід риб і т. ін.

Під *забрудненням водоймищ* розуміють зниження їх біосферних функцій і екологічного значення внаслідок надходження шкідливих речовин. Воно виявляється в зміні фізичних і органолептичних властивостей (зниження прозорості, поява забарвлення, запаху, присмаку), збільшенні вмісту солей (сульфатів, хлоридів, нітратів, важких і радіоактивних елементів і т. ін.), появи хвороботворних мікроорганізмів, скороченні концентрації розчиненого у

воді кисню і т. ін.

Так, унаслідок мінералізації води кількість солей у водах постійно зростає, навіть у такій об'ємній водній системі, як басейн річки Дніпро. У ряді невеликих річок, наприклад у Сіверському Донці, вода вже не прісна, а солонувата. Середня мінералізація рік України становить 2—3 г/л. До Південного Бугу надходять промислові стоки з мінералізацією 1,5—5,0 г/л. Нині багато рік України не можуть бути використані як джерела водопостачання.

Основна причина засолення вод — винищування лісів, розорювання степів, випас худоби. Вода слабше затримується в ґрунті, не зволожує його, не поповнює ґрунтові джерела, а стікає через ріки в моря. Для зниження засолення рік слід проводити посадку лісів. Інша причина — дренажні води, обсяг їх скидання на 2005 р. становить 40—45 км³. Системи зрошування споживають звичайно 1—2 тис. м³/га, їх мінералізація становить до 20 г/л.

Найбільший слід у мінералізації води залишає скидання *промислових стоків*. За даними 2000 р., їх обсяг дорівнював 10 988 млн м³, із яких 3172 млн м³ становили недостатньо очищені і 746 млн м³ — неочищені.

Для характеристики стічних вод є такі показники (умови спуску стічних вод у водоймища регламентуються "Правилами охорони поверхневих вод від забруднення стічними водами"):

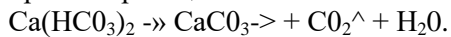
— *каламутність води* — маса дисперсних частинок (міліграмів), зважених у 1 л води (мг/л); вимірюється за допомогою каламутноміра. У ньому досліджувану воду порівнюють з еталонним розчином, приготованим з каоліну (сорт глини) або інфузорної землі в дистильованій воді;

— *кольоровість води* — показник якості води, що визначається порівнянням інтенсивності забарвлення випробовуваної води зі стандартною шкалою, виражається в градусах кольоровості;

— *сухий залишок* — маса речовини (міліграмів), яка залишається після випаровування 1 л води (мг/л);

— *кислотність води* вимірюється в одиницях рН; природна вода звичайно має лужну реакцію (рН > 7);

— *жорсткість води* — вміст солей у воді, в основному кальцію і магнію. Розрізняють три види жорсткості: *загальну*, зумовлену наявністю солей кальцію і магнію (Ca²⁺ і Mg²⁺); *постійну*, пов'язану з вмістом іонів Cl і SO²⁻ (кип'ятіння води протягом 1 год не усуває її); *усунену (тимчасову)*, що запобігається кип'ятінням води; при цьому протікає реакція



Жорсткість вимірюється в мг-екв/л солей магнію і кальцію (1 мг-екв відповідає 28 міліграмам CaO і в градусах (1° — кількість солей кальцію і магнію, що відповідає 10 міліграмам CaO в 1 л води)):

— *розчинний кисень* — це концентрація розчиненого у воді кисню (мг/л), залежна від температури води і барометричного тиску. Чим вища температура води і нижчий атмосферний тиск, тим менше розчиненого у воді кисню;

— *біологічна потреба в кисні* — кількість кисню, що поглинається мікроорганізмами в стічних водах; вона чисельно дорівнює зменшенню кількості розчиненого у воді кисню протягом 5 або 20 діб при температурі 20 °С.

Залежно від умов утворення стічні води поділяють на:

— *побутові* — стоки душових, пралень, лазень, їдалень, туалетів, стоки від миття полов та ін. їх обсяг у середньому становить 0,5—2 л/с з 1 га житлової забудови міста, вони містять 58 % органічних і 42 % мінеральних речовин;

— *атмосферні або зливові стоки*: за статистикою 1 раз на рік відбувається зливовий стік 100—150 л/с з 1 га; 1 раз на 10 років — 200—300 л/с з 1 га. Особливо небезпечні зливові стоки промислових підприємств: збирання та очищення їх утруднюються внаслідок нерівномірності й непередбачуваності;

— *промислові* — рідкі відходи, які виникають у процесі промислового виробництва.

Водоймища — складні екологічні системи, які формувалися протягом тривалого часу. У процесі біотичного кругообігу і господарської діяльності людини в них постійно надходять органічні й неорганічні речовини природного й антропогенного походження. Тому у водоймищах відбуваються процеси, що повертають екосистеми до первинного стану, — *процеси самоочищення*. Найважливіші з них:

— коагуляція насадження зважених у воді частинок;

— окислення (мінералізація) органічних домішок;

— окислення мінеральних домішок розчиненим у воді киснем;

— нейтралізація кислот і основ за рахунок буферної ємності води водоймища;

— гідроліз солей важких металів, що призводить до утворення малорозчинних гідроксидів і виділення їх з води та ін.

Якщо надходження речовин у водоймища не перевищує їх природної очищувальної здатності (ємності), то водна екосистема здатна перебувати в стані рівноваги — *гомеостазі*. Якщо очищувальна здатність водоймища буде перевищена, то відхилення від стану рівноваги в екосистемі будуть настільки значними, що відбудеться загибель популяцій водних організмів. У таких умовах повернення до початкового стану рівноваги вже неможливе, а отже, екосистема в цілому гине.

Найважливіша умова правильного протікання біохімічних процесів у водоймищах і забезпечення ними самоочищення води — оптимальна концентрація розчиненого кисню. Якщо кисню недостатньо, то вищі

організми гинуть. Органічні сполуки замість окислення піддаються анаеробному розкладанню з виділенням сірководню, вуглекислого газу, метану і водню, а воно створює вторинне забруднення водоймища.

Основний критерій якості води в нашій країні — порівняння з граничнодопустимою концентрацією речовин (ГДК) (нині замість ГДК використовують ТДР — тимчасово допустимі рівні (забруднення), що містяться у воді). Якщо концентрації речовин у воді не перевищують ГДК, то якість води вважається хорошою. При цьому скидання у водоймища нових речовин, ГДК яких не визначені, заборонено.

Але ГДК установлені далеко не для всіх речовин, крім того, в довідниках є значення не для стічних вод, а для водоймищ. У господарників з цієї причини з'являється бажання досягти заданого ГДК простим розбавленням стічних вод, що часто вони і роблять. Близько половини обсягу стічних вод на Землі перед скиданням у водоймища взагалі не піддається спеціальному очищенню, їх знешкодження полягає лише в розбавленні чистою водою і самоочищенні водоймищ. Так, стічні води заводів з виробництва поліетилену і полістиролу розбавляють в 30 разів, синтетичного каучуку — в 185 разів. Вихід зі становища, що склалося, — утворення замкнених водооборотних систем.

2. Забруднення водоймищ

Загальна характеристика. Незважаючи на неухильне зростання споживання води внаслідок швидкого збільшення чисельності народонаселення, головною проблемою став не брак питної води в більшості країн світу, а прогресуюче забруднення річок, озер і підземних вод. Значне зростання промисловості призвело до різкого збільшення обсягів технічних відходів, що скидаються, у вигляді неочищених або недостатньо очищених стічних вод у водоймища. Нині забруднення води в басейнах великих рік практично на всій території України досягло критичних показників. Деякі річки практично перетворені на стічні канали. Виносами річок забруднені прибережні води Азовського та Чорного морів.

Розділ 6

За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, в річкових водах містяться тисячі органічних речовин. Проте вітчизняні служби контролю якості води мають можливість контролювати не більше трьох — п'яти десятків речовин, що забруднюють водоймища. Водночас номенклатура забруднюючих речовин, виявлених у воді багатьох рік, перевищує 300 найменувань, серед яких є високотоксичні, зокрема канцерогенні, речовини.

Джерела забруднення водоймищ. Основними джерелами забруднення водоймищ є:

- 1) атмосферні опади, що містять забруднюючі речовини промислового походження, які вимиваються з атмосфери;
- 2) міські стічні води (побутові, каналізаційні стоки, що містять шкідливі для здоров'я синтетичні миючі засоби та ін.);
- 3) промислові стічні води;
- 4) сільськогосподарські стічні води (відходи тваринницьких комплексів, змив з полів добрив і пестицидів дощами і весняними талими водами та ін.).

Найбільш значущу частку забруднення водоймищ становлять промислові стічні води, половина обсягу яких (за даними вітчизняних природоохоронних служб) скидається у водоймища без очищення, а велика частина другої половини — в недостатньо очищеному вигляді. Тому майже всі річки забруднені нафтопродуктами, важкими металами, органічними і мінеральними сполуками. Сільськогосподарські стічні води несуть у річки та озера величезну кількість добрив і пестицидів. Скидання стічних вод у водоймища супроводжується накопиченням забруднюючих речовин у донних осадках у великих концентраціях, що може призводити до різкого підвищення рівня забруднення в повеневих водах і до вторинного забруднення, пов'язаного з утворенням нових (часто шкідливіших, ніж початкові) хімічних сполук.

У кожній країні є своя специфіка в номенклатурі речовин, що забруднюють водні системи речовин. Так, в Японії зі стічними водами у водоймища у великій кількості потрапляють сполуки ртуті, міді, цинку, хлору, пестициди. У Фінляндії майже 90 % забруднюючих речовин надходить у водоймища зі стічними водами від підприємств лісохімічної промисловості та підприємств з виробництва добрив. У США річки і прибережні води морів і океанів забруднені нафтопродуктами і важкими металами; сильно забруднена також система Великих озер.

Вплив забруднення водоймищ на природні екосистеми. Дуже небезпечні як для людини, так і біоти природних екосистем синтетичні миючі засоби, що надходять із побутовими стоками, які внаслідок спінювання перешкоджають надходженню кисню у воду. Екологічно небезпечні не тільки токсичні речовини, що містяться в стічних водах. Дрібнодисперсні волокна, що викидаються підприємствами з виробництва будівельних та інших матеріалів, здатні забивати дихальні системи водних організмів і викликати їх загибель. Велику небезпеку для екосистем водоймищ зі стоячою водою становить накопичення в них органіки, що надходить із сільськогосподарськими (і особливо тваринницькими) стоками, що містять біогенні елементи, зокрема азот і фосфор. У результаті у водоймищі розвивається процес евтрофікації, тобто підвищення біологічної продуктивності водних об'єктів унаслідок накопичення біогенних елементів у воді, що супроводжується так званім цвітінням, через масове розмноження фітопланктону, синьо-зелених водоростей і вищих водних рослин. Як наслідок, вода стає непридатною для життя.

3. Замкнуті водооборотні системи

Вартість очищення стічних вод дуже велика. Так, якщо прийняти вартість 90 % очищення за 1 одиницю, то

очищення на 99 % дорожче в 10 разів (10 одиниць), а очищення стоків на 99,9 %, що якраз і потрібне найчастіше, буде дорожчим уже в 100 разів, тобто становитиме **100** одиниць. Тому часткове очищення стічних вод від забруднень з метою їх повторного використання в тому ж виробництві буде значно дешевшим за їх повне очищення. На цій концепції базуються замкнуті водооборотні системи — системи очищення промислових стоків, в яких локально очищена вода не скидається в навколишнє середовище, а прямує знову у виробничий цикл.

Для оцінки якості замкнутих водооборотних систем підприємств використовується *критерій кратності використання води в обороті (n)*. Чим більша кратність використання, тим досконаліша схема водопостачання. У США середнє значення *n* у 2000 р. становило 7,5, у Росії за галузями:

- нафтохімія — 7;
- чорна і кольорова металургія — 5,25;
- харчова промисловість — 3;
- теплоенергетика — 2,25;
- виробництво будівельних матеріалів — 1,6;
- легка промисловість — 1,3.

У найближчі роки в Росії планується довести цей показник до 7 (в середньому по підприємствах), а в США — до 27.

Створення замкнутих систем водного господарства — дуже складне завдання. Надто різноманітний хімічний склад стічних вод робить неможливим розробку універсальної безстічної технологічної схеми. Тому можна говорити лише про загальні принципи створення і проектування безстічних схем:

— розробку науково обґрунтованих вимог до якості води, використовуваної у всіх технологічних процесах і операціях. У переважній більшості випадків немає необхідності у використанні води питної якості;

— максимальне впровадження систем повітряного охолодження замість водяного. Так, у результаті впровадження установок повітряного охолодження на підприємствах нафтопереробки споживання води в середньому скоротилося на 110—160 млн м³/рік;

— розміщення на промислових площах комплексу виробництв (так званих територіально-виробничих комплексів), що має забезпечити можливість багатократного (каскадного) використання води в технологічних процесах і операціях;

— застосування води для очищення газів від твердих частинок (це допустимо лише в замкнутих циклах).

4. Методи очищення стічних вод

Забруднені стічні води — це води, які в процесі використання засмічуються різними компонентами і скидаються без очищення, а також ті, які проходять очищення за норми, нижчої від встановленої Мінприроди України. Скидання таких вод викликає погіршення якості води у водному об'єкті.

Очищення промислових стоків — це комплекс різних методів. І (айширше) використовується комбінація механічного, реагентно-го (хімічного) і біохімічного очищень.

1. *Механічне очищення стоків* включає: відстій стічних вод у спеціальних відстійниках, у результаті якого відбувається осадження зважених у воді частинок; збір нафтопродуктів та інших нерозчинних у воді рідин з поверхні води у відстійниках; фільтрацію води через шар піску завтовшки 1,5—2 м.

2. *Реагентне (хімічне) очищення* — хімічне очищення стічних вод шляхом обробки їх реагентами, які нейтралізують забруднюючі речовини і переводять їх у нетоксичну або малорозчинну форму.

3. *Біохімічне очищення*. Аеробне біохімічне очищення полягає в мінералізації органічних речовин промислових або побутових стоків окисленням їх за наявності мікроорганізмів, аеробів (мінералізаторів). При цьому мікроорганізми використовують забруднюючі воду речовини як продукти харчування. Процес очищення проходить в умовах інтенсивного споживання мікроорганізмами розчиненого у воді кисню. Найчастіше джерелом аеробних бактерій є так званий активний мул.

В основі анаеробного біохімічного очищення лежить *метанове бродіння*, що здійснюється за наявності метанотворюючих бактерій. Як продукти бродіння виходять газ, що складається з метану (65 %) і CO₂ (33 %), та осад, який ущільнюють, сушать і тоді використовують як добриво або, якщо є токсичні домішки, спалюють.

Ефективність біохімічного очищення на найсучасніших установках — 90 % за органічними речовинами і лише 20—40 % за неорганічними, оскільки в результаті її практично не знижується солеміст води.

4. *Знезараження води*. Останньою стадією підготовки води для питних потреб є її знезараження — знищення в ній хвороботворних мікроорганізмів за допомогою хлору, фтору або озону. Через воду можуть розповсюджуватися такі страшні інфекційні захворювання, як холера, черевний тиф, гепатит і т. ін. Тривалий час знезараження води здійснювали хлоруванням. Проте за взаємодії хлору з ароматичними сполуками, що містяться у воді, утворюються поліхлоровані біфеніли. Окислюючись, вони перетворюються на діоксини — отрути. Враховуючи цей факт, у 80-ті роки в багатьох країнах перейшли до обробки води фтором, проте виявилось, що це не менш шкідливо, ніж хлорування. Нині найбільш перспективним і нешкідливим вважається знезараження води озоном (O₃).

5. *Очищення води від солей (демінералізація води)*. Вода питної якості має містити солей не більше 1000 мг/л, з них: хлоридів не більше 350 мг/л і сульфатів не більше 500 мг/л. Є декілька методів демінералізації природних і стічних вод:

— *дистиляція* (випаровування): при кип'ятінні стічної води в пару переходять вода і летючі органічні

речовини, а мінеральні й органічні солі залишаються в кубі. Основний недолік цього методу — великі витрати енергії — 0,080 ГДж/т. З цієї причини най-могутніші випарні установки споруджують на підприємствах атомної енергетики, що мають дешеву теплову енергію. Наприклад, у м. Шевченко (Казахстан) на базі атомного реактора методом дистиляції проводять опріснення морської води;

— *вимороження*: при кристалізації води, що містить солі, насамперед виділяються кристали прісного льоду. Порівняно з дистиляцією вимороження має енергетичні, технологічні, конструкційні переваги;

— *мембранні методи*, які ґрунтуються на властивості напівпроникних мембран (синтетичні полімерні плівки) вибірково пропускати крізь себе молекули води, але затримувати розчинені в ній солі й органічні речовини. До них відносять електродіаліз і ультрафільтрацію (зворотний осмос). Електродіаліз — метод демінералізації та концентрації розчинів, що ґрунтується на направленому перенесенні іонів солей у полі постійного струму через напівпроникну мембрану. За кордоном цей метод набув великого поширення для знесолення морської води. Наприклад, у Лівії функціонує установка продуктивністю 20 тис. м³/добу, в США — 400 тис. м³/добу. Метод зворотного осмосу базується на очищенні водних розчинів шляхом їх фільтрації через напівпроникну мембрану під тиском 6—8 МПа. Процес характеризується відносно невеликими витратами енергії. За кордоном освоєно виробництво подібних установок продуктивністю до 1 тис. м³/добу;

— *іонний обмін*, що ґрунтується на вибіркового поглинанні іонів, що містяться у воді, в шарі іоніту, і є основним для приготування глибоко знесоленої води для АЕС і ТЕС з котлами надвисокого і критичного тиску. Крім того, він використовується у водо-оборотних циклах на підприємствах для концентрації і витягування із стічних вод цінних компонентів (наприклад, іонів важких металів). Широке застосування цей метод набув і в практиці пом'якшення води, тобто позбавлення її від солей постійної жорсткості.

6. *Видалення залишкових органічних речовин*. Після очищення в стічних водах можуть залишитися органічні речовини. Кращий спосіб їх видалення — адсорбція активованим вугіллям. Для цього воду пропускають через колонки з активованим вугіллям (час контакту 20—40 хв). Адсорбція ефективна для більшості органічних сполук і використовується для очищення побутових стоків від рідких відходів перегонки нафти, фенолів та інших ароматичних сполук. Метод дає змогу очистити стічні води до біологічної потреби в кисні, — менше або рівно 1 мг О₂/л (менше норми за ДСТУ).