

ХІМІЯ ВОДИ І ПРОБЛЕМИ ПИТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ



Владислав Гончарук
доктор хім. наук,
академік НАН України,
академік-секретар
Відділення хімії НАН України,
директор
Інституту
колоїдної хімії й хімії води
ім. А.В. Думанського
НАН України,
м. Київ

Світове співтовариство, вступаючи в XXI сторіччя, дійшло висновку, що загроза його існуванню таїться не стільки в небезпеці військових конфліктів, ядерних і регіональних катаклізмах, скільки в катастрофічній екологічній ситуації. Сучасний світ зіштовхнувся із проблемою деградації екологічних систем і поступового виснаження природних ресурсів, у першу чергу водних, від яких залежить існування людства на Землі. Україна мала можливість особливо болісно відчувати це, тому що саме на її території відбулася Чорнобильська катастрофа — нижня межа падіння традиційної індустріальної цивілізації з її антиекологічним розвитком.

Уже зараз ми є свідками водної кризи, що настала, яка проявляється, насамперед, у дефіциті й якості прісної води в країнах Близького Сходу, Африки, Азії. Спостерігається різке погіршення якості води в країнах Європи. Тривожна ситуація склалася й в Україні, де прісноводні ресурси, як відомо, обмежені. Найсерйозніші побоювання викликають якісні зміни природних і питних вод, невідповідність їх санітарно-гігієнічним і екологічним вимогам, недосконалість технології очищення побутових, промислових і зливних стічних вод і, як результат — негативний вплив патогенних мікроорганізмів і токсичних домішок, зокрема й мікродомішок на екосистему та, в остаточному підсумку, на якість питної води й здоров'я людини.

Завдання людства полягає в тому, щоб, усвідомивши процеси, що відбуваються в природі, зберегти біосферу

й, насамперед, найвразливішу її частину — водний басейн планети, особливо запаси прісної води.

Вода — всесвітній буфер планети, її "імунна система"

Три чверті площі поверхні планети покриті водою (табл. 1). Вся ця маса води перебуває в безперервному русі — великому кругообігу речовин на Землі, вона міняється сама, змінюючи все навколишнє, що є базою для відновлення, очищення й відновлення життя на планеті.

Клімат є одним із найважливіших природних явищ, що впливає на умови життя всього живого на нашій планеті. Навіть незначні зміни клімату призводять до істотних екологічних наслідків у тому або іншому регіоні та до радикальної якісної й кількісної зміни біоти.

Вирішальний вплив на кліматичні умови має зміна водних ресурсів у конкретному регіоні. Створення великих мегаполісів, штучних водойм, проведення великомасштабних меліоративних робіт, прокладання каналів, осушення боліт і озер, перенесення рік призводить до серйозних екологічних наслідків. Саме ресурси води в регіонах є тією буферною зоною, що забезпечує м'який клімат. Різко континентальний клімат з величезними перепадами денних і нічних температур і сезонних коливань зумовлений відсутністю достатньої кількості водних ресурсів. Саме вони знижують негативний вплив антропогенних навантажень від діяльності людини, очищаючи ґрунт і повітря від шкідливих речовин.

Таблиця 1. Водні ресурси планети

| |
|--|
| 1. <i>Моря та океани</i> ~ 1350 млн. км ³ (з мінералізацією 35 г/л) |
| 2. <i>Льодовики</i> ~ 30-50 млн. км ³ (недоступні для людини) |
| 3. <i>Ріки та озера</i> ~ 0,4 млн. км ³ (доступні для людини) |
| 4. <i>Підземні води</i> ~ 0,4 млн. км ³ (до 800 м) ~ 0,4 млн. км ³ (до 1600 м) |
| 5. <i>Прісні води</i> на планеті становлять тільки 3%, із них більша частина міститься у пакових льодах Арктики та Антарктики. |
| 6. <i>Прісна вода</i> (доступних водних ресурсів) становить 0,06 % (0,8 млн. км ³) |



Кругообіг води в природі

XXI сторіччя одержало важку екологічну спадщину. Рівень антропогенних забруднень став настільки великий, що ми вже не можемо говорити про ту біосферу, про яку писав академік *В.І. Вернадський*. Реально ми вже ввійшли в період створення на Землі техносфери. У цей час усі водні ресурси планети за своєю якістю принципово відмінні від первозданної природної води (за винятком тільки артезіанських вод) і перетворилися в техногенні.

Людство вперше за багато тисяч років свого існування зіштовхнулося із зовсім новою, несподіваною й неусвідомленою повною мірою проблемою дефіциту прісної води. Добре відомо, що прісна вода на планеті становить тільки 3% всіх світових водних ресурсів, причому більша частина її законсервована в пакових льодах Арктики й Антарктики. Від абсолютного дефіциту води в цей час потерпають понад 40 країн світу: Близького Сходу, Африки, Індокитаю й Австралії. П'ята частина населення Європи й Америки п'є забруднену воду, що не відповідає міжнародним стандартам. За офіційним даними Всесвітньої організації охорони здоров'я близько 80% захворювань на земній кулі пов'язано зі споживанням неякісної питної води.

Джерела питного водопостачання

Найнадійніше захищеним від антропогенного впливу джерелом питного водопостачання є *артезіанські підземні води*. На сьогодні відомо більше

150 типів різних прісних і мінералізованих питних і лікувальних вод у світі.

Найпоширенішими домішками в підземних водах є: двовалентні іони заліза та марганцю, іони фтору, нітрати, аміак, сірководень, солі жорсткості, підвищений солевміст. Звичайно, ці домішки істотно перевищують гранично допустимі концентрації для питної води. Наявність цих домішок зумовлена природними факторами геологічного характеру. З іншого боку, потрібно лише завжди пам'ятати про те, що якісна, корисна для здоров'я людини вода повинна містити широкий спектр мікродомішок життєво важливих, біологічно активних елементів, а також природних органічних сполук. Саме вони, розчиняючись у воді, формують її смак, запах, прозорість і фізіологічні якості.

Другим широко розповсюдженим у світі джерелом питного водопостачання є *поверхневі прісні води*. Однак, глобальний характер людської діяльності в XX сторіччі з розвитку промисловості, аграрного комплексу, транспорту, комунального господарства, формуванні великих мегаполісів, зростання міст і селищ призвів до широкомасштабного забруднення поверхневих вод неочищеними стоками промислових, сільськогосподарських виробництв і комунального господарства. Постійно спостерігаємо поповнення складу стічних вод за рахунок синтезу нових хімічних речовин і композицій, що часто мають токсичні, канцерогенні й мутагенні властивості, і тому важко видалюються біологічно, що практично виключило можливість природного самоочищення водою.

Можна виділити наступні *найнебезпечніші типи забруднень*, що надходять у навколишнє середовище і, в остаточному підсумку, у воду:

I. Хімічні забруднення, які розподіляються на два основні види:

- неорганічні сполуки (іони металів, зокрема важких, солі, токсичні й біологічно активні речовини та ін.)

- органічні сполуки (нафтопродукти, феноли, пестициди, поверхнево-активні речовини, хлорорганічні сполуки, ксенобіотики та ін. сполуки)

II. Бактеріальні й вірусні забруднення.

III. Радіоактивні речовини природного й антропогенного походження та ізомери елементів.

IV. Мутагенні сполуки органічного та неорганічного походження.

V. Мікозні забруднення.

VI. Гормональні препарати.

Третім джерелом питного водопостачання можуть служити *моря й океани*. Відомо, що середній солевміст у них становить близько 30 г/дм³. Природно, що така вода не може бути використана для пиття. У світі є багато різних підходів для одержання з неї прісної води. На практиці використовують три основні технології опріснення — дистиляцію, мембранні та електрохімічні методи. Отримана такими способами знесолена вода ще не є питною водою, тому що ми одержуємо практично дистильовану воду, позбавлену всіх солей, непридатну для пиття. Необхідне коректування солевого складу такої води, тобто її кондиціонування, введення як солей жорсткості (солі кальцію й магнію), так і натрію, калію, і багатьох інших елементів, біологічно необхідних для нормальної життєдіяльності людини. Тут, по суті, мова йде про формування штучної води для питних цілей. Це аж ніяк не найкращий варіант, але життєво необхідний там, де немає іншого джерела прісної води.

Проблеми хімії, фізики й біології води в XXI сторіччі

Вода, найрозповсюдженіша хімічна речовина на Землі, має унікальні властивості.

Жодна речовина у світі не може одночасно перебувати у всіх трьох фазових станах — рідкому, твердому й газоподібному. Різноманітні стани рідкої води: переохолоджена до -70°C , прісна, розсоли, гідрати, туман, хмари, зв'язана вода в клітинах організму, псевдозріджена вода, коли стирається грань між газоподібною й рідкою водою — від дистильованої до солоної й газогідратної.

Вода, у будь-яких з її фазових станів, є супрамолекулярними структурами, що самоорганізуються, має унікальні кластерні утворення — це й рідкі кристали, і газо-, і твердофазні кристалічні нанорозмірні частинки. Причому, потрібно завжди пам'ятати, що вода, будучи універсальним розчинником, у якій розчиняється абсолютно все, ніколи не буває абсолютно чистою.

Вода, у середовищі якої відбуваються хімічні реакції, біологічні, різні фізичні процеси, є не просто розчинником, а основним учасником усіх реакцій і процесів.

Стан поверхневих шарів природних вод (рік, морів, океанів) залежить від різних факторів фізичної, хімічної й біологічної природи. Структура або стан молекул самої води також залежить від цих факторів.

Безперечно, сьогодні ще дуже недостатньо відомостей про вплив концентрації ізотопів води дейтерію й тритію на стан молекул води і її структуру, а отже, і на мікроструктуру поверхневих шарів води. Хоча давно вже відомий вплив ізотопного складу речовин на кінетичні характеристики численних реакцій. Виявляється, що дейтерій дуже впливає на кінетичні параметри хімічних і біологічних процесів, утворюючи міцніший зв'язок з киснем у молекулі води, на відміну від легкого водню, протію. Відомі факти, що наявність підвищеної концентрації дейтерію в питній воді призводить до прискорення процесів старіння організмів. Дейтерій виявляє токсичні властивості стосовно живих організмів. Серйозною проблемою сьогодні є зростання рівнів фоновієї радіоактивності, а також збільшення концентрацій важких ізотопів стосовно їхніх легких прототипів. У першу чергу це стосується життєво важливих елементів, таких як водень, кисень і вуглець, які є основою білкового життя в нашій біосфері та впливають на механізм біологічної еволюції.

Серед великої гами фізико-хімічних процесів, що відбуваються у гідросфері, необхідно виділити фотоокисну деструкцію техногенних і природних органічних сполук — токсикантів (пестициди, ПАВ, барвники, гумінові речовини тощо) у фотичному шарі поверхневих вод, що має величезне екологічне значення. Роль цих процесів в екології гідросфери постійно зростає, у зв'язку зі збільшенням інтенсивності УФ компоненти сонячної радіації, що досягає поверхні Землі внаслідок розширення озонових дір у стратосфері. Азотовмісні органічні сполуки, особливо похідні піридину,

належать до розповсюджених забруднювачів біосфери, внаслідок широкого застосування їх як активного інгредієнту в пестицидних препаратах, ПАВ, барвниках і т. ін. Підвищений інтерес дослідників до сполук цього класу зумовлений також їхньою порівняно високою стійкістю до біологічного розкладання.

Аналіз літературних даних і результати досліджень, виконаних нами в галузі фотоокисної деструкції азотовмісних органічних сполук, дозволили зробити такі висновки щодо механізму процесів деградації органічних речовин — забруднювачів гідросфери:

1. При високих рівнях забруднення води органічними токсикантами, коли на них припадає переважна частина енергії світла, що поглинається, первинною стадією деградаційного процесу є **прямий фотоліз** субстрату з наступною взаємодією утворених радикальних часток з киснем та іонами важких металів (ВМ). Інтермедіатами фотодеструктивного процесу в цьому випадку є аніон- і катіон-радикали, органічні іони, пероксидні сполуки.

2. Фотоокислювальний процес перебігає також через первинну стадію фотогенерування **гідроксильних радикалів** в елементарних актах **фотопереносу електронів в аква- і гідрокмплексах іонів ВМ**. У цьому разі субстрат виконує роль "скейвінджера". Взаємодія його з гідроксильними радикалами призводить до їх дезактивації та інгібування зворотного процесу регенерування окисної форми ВМ.

3. Токсиканти, у молекулах яких є функціональні групи або фрагменти, що володіють високою електродонорною здатністю, утворюють координаційні сполуки з іонами ВМ. У цьому випадку початковою стадією фотоокислювання субстрату є внутрішньосферний перенос електрона типу $Me < L$. Координаційна взаємодія в системі ВМ — токсикант, як правило, призводить до батохромного зсуву характеристичних смуг токсиканта в його електронних спектрах і, як наслідок, до розширення фотохімічно активного спектрального діапазону сонячної радіації, яка сягає поверхні

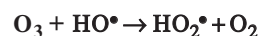
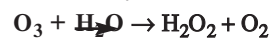
Землі.

У результаті була запропонована схема фотокаталітичного деструктивного окислювання азотовмісних органічних сполук у водних середовищах.

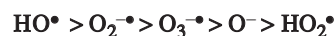
Забруднення вихідної води досягли такого рівня, що водопровідні очисні споруди, побудовані відповідно до чинних норм у світі, уже давно не в змозі перешкоджати потраплянню в питну воду речовин, які самі по собі, і особливо їхня спільна дія на організм людини перетворилися в реальну загрозу здоров'ю людини.

Все це призводить до пошуку нових альтернативних технологій вододобороби, використання яких дозволило б одержувати безпечну для здоров'я людини питну воду. Тут, насамперед, варто звернути увагу на природні, екологічно безпечні окислювачі, які можна було б використовувати в новітніх технологіях, орієнтованих на одержання високоякісної питної води із джерел питного водопостачання навіть досить сильно забруднених будь-якими видами сполук.

У таблиці 2 наведені окисні потенціали окислювачів, використовуваних сьогодні у водоочищенні, найбільш перспективних при створенні нових технологій. Аналіз цих табличних даних свідчить про те, що максимальну реакційну здатність має гідроксильний радикал, що може окислити будь-яку органічну сполуку до вуглекислого газу і води. Гідроксильний радикал утворюється при взаємодії озону з водою, або пероксиду водню з водою за наступним механізмом:



За реакційною здатністю утворені активні частки можна розташувати таким чином:

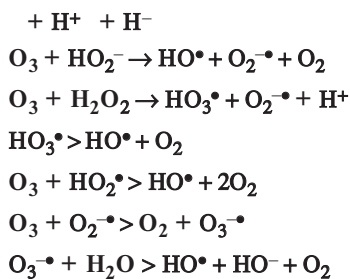


Встановлено, що домішки пероксиду водню чинять досить сильну каталітичну дію на розпад озону. Схематично це можна зобразити у такий спосіб:



Таблиця 2. Окислювальний потенціал деяких окислювачів

| Хімічна сполука | Формула | Окислювальний потенціал |
|-----------------------|-------------------------------|-------------------------|
| Хлор | Cl ₂ | 1.36 |
| Діоксид хлору | ClO ₂ | 1.57 |
| Пероксид водню | H ₂ O ₂ | 1.78 |
| Озон | O ₃ | 2.07 |
| Атомарний кисень | O | 2.42 |
| Гідроксильний радикал | OH ₋ | 2.80 |



Результати наших досліджень свідчать про те, що ці процеси істотно прискорюються в присутності каталізаторів (як гомогенних, так і гетерогенних) і ультрафіолетового опромінення. Саме ці результати були використані нами для створення принципово нових технологій водоочислення від будь-яких видів забруднень у сполученні з комплексом фізико-хімічних і біологічних методів. Дослідження кінетики й механізму всіх процесів, що відбуваються у водних системах, дозволили нам розробити не тільки нові комплексні технології, але й устаткування для водоочислення.

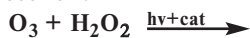
Застосування цих новітніх методів дає можливість одержувати високоякісну питну воду із практично будь-якого за ступенем забруднення джерела питного водопостачання. Винятково важливе значення ці методи мають для розв'язання проблеми знезаражування води від практично будь-якого мікробіологічного і хімічного забруднення джерел питного водопостачання. Ми пропонуємо три підходи для розв'язання цих завдань при підборі відповідних параметрів — концентраційних, температурних, рН середовища та інших факторів.

Перший спосіб — проста обробка води озоном або пероксидом водню.

Другий спосіб — фотоокисне знезаражування.

Третій спосіб полягає в комбінованій дії одночасно трьох факторів:

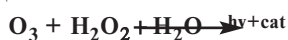
— фотокаталітичне знезаражування озоном:



— фотокаталітичне знезаражування пероксидом водню:



— фотокаталітичне знезаражування при спільній дії озону і пероксиду водню



— а також можливе фотокаталітичне знезаражування хлором



Сьогодні нам не відомі ефективніші та екологічно чистіші методи обробки води.

Ми запропонували нові фізичні

методи очищення й знезаражування води із застосуванням плазмохімії. Показано, що плазмовий розряд у воді супроводжується генеруванням ультразвуку (частота до 10 МГц) і УФ-випромінюванням, та істотним зниженням концентрації токсичних органічних сполук у воді та її знезаражуванні.

Порушення екологічної рівноваги в системі “повітря-вода-земля” призводить до зміни біологічних властивостей представників мікросвіту, що відрізняються стійкістю до агресивного середовища й адаптивними властивостями до екстремальних факторів — так виникають нові патогени.

У цей час в усьому світі спостерігається заміна патогенного бактеріального компоненту більш агресивним грибним, котрий звикли вважати умовно-патогенним, не враховували та не припускали його потенційних агресивних можливостей (здатностей). Різке збільшення кількості хворих, що страждають від системних і локальних мікозів, змушує надавати цій проблемі максимум уваги та серйозніше ставитися до виявлення окремих видів мікроміцетів при оцінці інфекційної небезпеки навколишнього середовища.

Мікотичні захворювання містять у собі не тільки мікози, але й інтоксикації токсичними речовинами грибів — мікотоксикози, міцетизм, мікоалергози.

У світлі викладеного набуває все важливішого значення проблема санітарно-епідеміологічної небезпеки, пов'язана з мікробним забрудненням води не тільки природних водойм, але й централізованого водопостачання. Розширення промислового будівництва, збільшення щільності населення в містах породжують потреби відповідного водопостачання. Зростання дефіциту води питного призначення зумовлює необхідність розглядати цю проблему як одну з найважливіших не тільки в техногенному, але й у санітарному аспектах.

Основним джерелом централізованого водопостачання все частіше стають водойми, канали й прісноводні моря, що утворилися в результаті штучного перекриття водних магістралей. Внаслідок цих перетворень не тільки змінилися рула рік, але порушилися гідрологічні характеристики і режим природної самоочисної системи. Це пов'язано із принципово новими процесами деструкції донних відкладень, що утворилися в місцях затоплень територій з високим антропогенним навантаженням. У таких нових умовах функціонування в природних гідробіоценозах почалося фор-

мування мікробного компонентного складу, здатного адаптуватися до анаеробного типу метаболізму при колонізації трофічних джерел з високим вмістом різних органічних речовин. У донних відкладеннях виявилися ґрунти, населені звичайними ґрунтовими грибами, що володіють здатністю освоювати нові субстрати різного походження, у тому числі й тваринного, завдяки чому вони виживають в екстремальних умовах. У звичайних водних сукцесіях мікроорганізмів стали переважати нові агресивні компоненти — мікроміцети з високим ступенем потенційної небезпеки для навколишнього середовища та передусім для людини.

Автор вважає, що *основними причинами забруднення водних об'єктів бактеріями, грибами, вірусами, найпростішими є нестабільна та неефективна робота очисних споруд з очищення малокаламутних вод і відсутність у них бар'єрної функції для вірусів і розчинених хімічних сполук. На жаль, традиційне хлорування води не призводить до повної загибелі грибів, вірусів і навіть бактерій.*

Загальне забруднення водойм і наявність у них різних хімічних сполук сприяє зниженню ефективності бар'єрної функції водоочисних систем відносно мікробної контамінації. Підтвердженням можливості потрапляння різних грибів у розподільну систему можуть бути результати наших досліджень з виявлення і визначення їхнього видового складу в прибережному піску зони пляжу на березі Дніпра (м. Київ) й у воді в різні періоди часу впродовж двох років спостереження. У цьому зв'язку особливу актуальність мають дослідження, що стосуються мікробного (бактерії, гриби, віруси) біоценозу водних резервуарів під впливом численних факторів, передусім радіаційного забруднення.

Відомо, що однією з головних умов деструкції забруднень різного походження, що надходять у водойми, є нормальне функціонування мікробного ценозу. Але як зміниться композиційний склад мікроорганізмів-деструкторів і яким чином зміняться властивості самих мікробів під цим впливом — питання, на яке ще треба відповісти. Відомо, що екологічні негаразди призводять до посилення експресії генів, відповідальних за продукцію ферментів і токсичних речовин мікроорганізмами, що підвищує ступінь їх агресивності, особливо це стосується умовно-патогенних представників мікросвіту. Визнаючи пріоритетність охорони здоров'я населення, варто визнати таким і забезпечення



людей якісною питною водою, що є також провідним фактором екологічної безпеки людей планети.

Варто чітко розуміти, що під впливом антропогенного пресингу може початися страшний процес деградації геному, початкові ознаки якого ми спостерігаємо, вивчаючи якість води методом біотестування з використанням клітинних біомаркерів.

Біотестування — це цілеспрямоване використання стандартних тест-організмів і методів для визначення ступеня токсичності різних типів вод, окремих компонентів-забруднювачів і вод природних водойм. У широкому розумінні біотестування є методичним прийомом, що ґрунтується на оцінці впливу фактора середовища на організм, його окрему функцію або систему організмів. Перспективність і ефективність цього підходу для експрес-аналізу і моніторингу якості різ-

них типів вод, а також оцінювання різних речовин, які їх забруднюють, не викликає сумнівів.

Використання клітинних біомаркерів, самих по собі або ж у сполученні з традиційними методами на рівні організму, дуже необхідне на сучасному етапі біотестування якості вод. Універсальність клітинної організації відкриває широкі можливості для токсикологічних досліджень із застосуванням різних груп тварин і рослин і наступною екстраполяцією отриманих результатів на клітини та організм людини.

Оцінка якості природних вод методами біотестування в останні десятиріччя набула особливої актуальності у зв'язку зі стрімким зростанням числа потенційно небезпечних хімічних сполук, що забруднюють водойми. Наприклад, близько 24 мільйонів хімічних речовин було відомо до 2000

року і близько 1,3 мільйона нових речовин реєструється щорічно впродовж останніх 5 років. Приблизно 60 тисяч речовин використовується в нашому повсякденному житті.

Використання хімічних методів для оцінки якості вод не завжди дає необхідний результат внаслідок нестачі інформації про біологічний складник аналізованих речовин. У результаті біотестування можна визначити токсичність води, що за хімічним аналізом не містить шкідливих домішок, і водночас виявлення токсиканта не обов'язково означає токсичність води відповідно до біологічних критеріїв. Крім того, гідрохімічні дослідження не враховують взаємодії забруднюючих речовин, їх трансформацію як у середовищі, так і в організмі. Методи біотестування об'єктивно й комплексно оцінюють вплив речовин на організм, його життєві процеси. У багатьох випадках біомоніторинг є технічно простішим і значно дешевшим, не вимагає спеціального приладового оснащення, обмежений у часі, точніший і чутливіший порівняно з хімічним аналізом. У цілому це призводить до зменшення числа необхідних процедур, значного спрощення дослідницького процесу.

Суть комплексного підходу, який розвивають у нашому інституті, полягає в наступному. Різні види токсичності вивчаються як на рівні організму, так і на клітинному, причому на кожному із цих рівнів, у свою чергу, використовуються підходи, що дозволяють одержати комплексну оцінку токсичного впливу. Зокрема, на рівні організму аналізуються реакції представників різних систематичних груп і трофічних рівнів (загальна й гостра токсичності); на рівні клітини — структурні й функціональні зміни геному (гено- і цитотоксичність).

У результаті серії досліджень, проведених на речовинах органічної та неорганічної природи з використанням різних тест-об'єктів, нами був відібраний наступний набір біотестів як оптимальних для аналізу токсичних впливів на організм і його клітини: рослини — салат, *Lactuca sativa*, або цибуля, *Allium cepa*; безхребетні — гідра, *Hydra attenuata*; і хребетні тварини — риби, наприклад, короп, *Cyprinus carpio*; карась, *Carassius auratus gibelio*, або інші види. В останньому випадку в експериментах вивчали клітини плавникової облямівки з метою найменшого травмування тварин і порушення їхніх фізіологічних функцій, а також періодичного аналізу тих самих особин.

Набір клітинних критеріїв містить



у собі частку клітин з мікроядрами (рееструють структурні порушення в спадкоємному апараті клітини) і кількісні характеристики ядерця (відбивають функціональні зміни). Додатково, завдяки технічним можливостям застосовуваних методів, визначали мітотичний індекс (зміни в частці клітин, що діляться, як показник цитотоксичності) і кількість клітин з подвійними ядрами і ядерними порушеннями (показники генотоксичності).

Обговорювані підходи вкрай важливі для практичної реалізації. Біомоніторинг природних і питних вод — це актуальне завдання на сучасному етапі розвитку суспільства, що підтверджують роботи, проведені науковими колективами, у багатьох країнах (Швеція, Іспанія, Італія, Китай, США, Японія та ін.). Однак, у цьому напрямку ще не вирішені як загальні, так і часткові, але не менш важливі, проблеми. До останніх належать “цвітіння” води або бурхливий розвиток синьо-зелених водоростей, генотоксичність продуктів, життєдіяльність яких вимагає детального вивчення; пошук чутливих і водночас технічно простих біомаркерів для оцінки різних типів токсичності, проблеми біовідновлення забруднених вод, ґрунтів, осадів тощо.

Подальшого розвитку заслуговують дослідження з генотоксичності, цитотоксичності й мутагенності речовин і препаратів, використовуваних на різних етапах водопідготовки. Орієнтація головним чином на хімічні підходи при визначенні якості питної води не зовсім виправдана з погляду її головного споживача — людини. Хімічні методи не можуть виявити всього набору елементів, що присутні

у водяному розчині, оцінити їх взаємодію і трансформацію в середовищі й організмі. Біотестування (комплексне з використанням оптимальних наборів як тест-організмів, так і клітинних параметрів) об'єктивно характеризує біологічний складник якості води. Біомоніторинг питної води, включаючи різні етапи її підготовки, очищення, знезаражування, треба проводити за токсикологічними (гостра й хронічна токсичності), гено- і цитотоксичними, мутагенними параметрами. Всі перераховані види токсичності слід контролювати і видаляти з питної води. До того ж, за біологічними критеріями можливе визначення оптимального (найбільш підходящого для функціонування людського організму і його клітин) складу води, наприклад, сольового, для певного регіону, популяції тощо. Загалом, біологічні критерії оцінки якості питної води треба використовувати нарівні з уже затвердженими хімічними нор-

мативами.

Підсумовуючи вищесказане, слід визнати, що проблема забезпечення населення планети питною водою, що відповідає вимогам епідеміологічних і гігієнічних норм у кількості, яка задовольнятиме фізіологічні та побутові потреби людини, набула винятково гострого характеру.

Питне водопостачання населення України в контексті її стійкого розвитку

Аналіз стану питного водопостачання населення більшості міст України показав, що якість питної води й рівень її споживання залишаються незадовільними, а в багатьох населених пунктах ця проблема набула кризового характеру.

До числа основних недоліків організації забезпечення населення питною водою варто віднести:

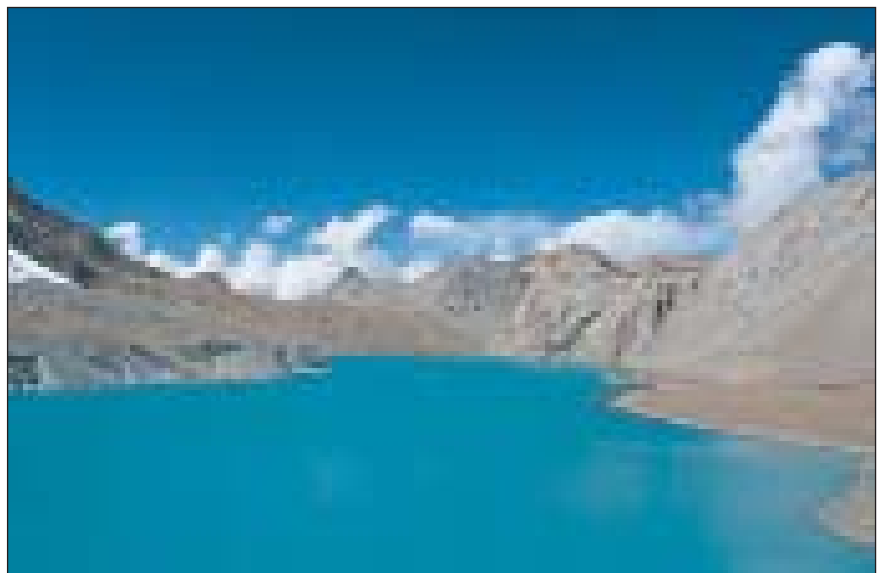
- недосконалість законодавчої бази і недостатньо ефективний контроль над виконанням нормативних і правових основ діяльності в сфері питного водопостачання;

- незадовільний санітарний і екологічний стан поверхневих джерел господарсько-питного водопостачання, недостатнє використання більш захищених від забруднення підземних джерел води;

- застосування недосконалих технологій на водопровідних очисних спорудах, побудованих відповідно до чинних нормативів. Однак вони вже не в змозі перешкоджати потраплянню в питну воду речовин, дія яких на організм людини стає реальною загрозою її здоров'ю;

- погіршений стан водогінних мереж і споруд, а також порушення режимів їх експлуатації;

- слабка матеріально-технічна база лабораторного контролю якості





питної води на всіх етапах її надходження до споживачів;

— незадовільне інформаційне забезпечення населення про якісні параметри води, що подається, і рекомендованих методів і засобів її доочищення.

Початком великої творчої роботи з розв'язання проблем забезпечення населення України якісною питною водою є розробка і прийняття діючих ефективних і реальних законодавчих і нормативних документів, що визначають основу питного водопостачання — державних національних стандартів на джерела водопостачання і питну воду. Ці документи, з урахуванням контролю якості води, медичних аспектів, досвіду нормування показників якості вихідної й питної води в Україні, мають стати визначальними в забезпеченні країни якісною питною водою. Необхідний також облік реального стану діючих джерел водопостачання, технологій підготовки питної води і перспектив поліпшення їх якісних показників.

Поверхневі і підземні води України дуже різноманітні за своїм складом і властивостями. Тому об'єктивна оцінка їхнього екологічного і санітарно-гігієнічного стану та придатності для використання як джерела централізованого питного водопостачання повинна спиратися на науково обґрунтовану базу критеріїв, а саме: на комплекс кількісних значень найбільш презентативних показників якості вод. Такою критеріальною базою є еколого-гігієнічна класифікація якості вод.

Еколого-гігієнічна класифікація якості вод — джерел централізованого питного водопостачання, ґрунтується

на трьох взаємозалежних аспектах:

екологічний — вихідна якість води в джерелі водопостачання буде такою, якою вона сформувалася в природних умовах з урахуванням антропогенного впливу на водну екосистему;

гігієнічний — вода, що забирається для питного водопостачання, має бути безпечною з гігієнічного погляду;

технологічний — вода в джерелі питного водопостачання повинна бути сировиною, що дозволяє виготовити фізіологічно повноцінну питну воду з урахуванням сучасних технологій водопідготовки та економічних показників.

Керуючись викладеними засадами, був розроблений і затверджений *Національний стандарт України “Джерела централізованого питного водозабезпечення. Гігієнічні та екологічні вимоги до якості води і правила відбору” ДСТУ 4808:2007.*

Інститутом колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України запропоновано нову концепцію раціонального забезпечення населення високоякісною питною водою в Україні. Основні положення концепції запропоновані до Закону України “Про питну воду і питне водозабезпечення”, який представлений на розгляд Верховної Ради України. Для реалізації концепції і положень Закону створені принципово нові державні стандарти України “Питна вода”, “Питна вода поліпшеної якості”.

Розробка й затвердження Державних стандартів на джерела водопостачання і питну воду є тільки одним із етапів втілення цільової програми забезпечення населення України якісною питною водою.

Вся програма повинна передбачати проведення комплексу заходів щодо відновлення якості джерел водопостачання, раціонального використання та економії питної води, удосконалення технологій і устаткування для забору й підготовки питної води. Вона також має передбачати розробку і впровадження індивідуальних і колективних водоочисних пристроїв, створення комплексів і міні-заводів з виробництва бутильованої питної води й низки інших. Необхідні розробки й впровадження альтернативних хлорування технологій очищення і знезаражування природних вод з безпечнішим ефектом. Із цією метою в останні роки ми проводимо дослідження закономірностей — утворення токсичних побічних продуктів при обробці природної води хлором і екологічно безпечнішим озонем, порівняння ефективності таких технологічних прийомів, як передозонування й передхлорування дніпровської води в сполученні з коагуляцією та адсорбцією на активованому вугіллі.

Органічне поєднання теоретичних і прикладних робіт, безпосереднє використання результатів, отриманих при проведенні фундаментальних досліджень для створення нових технологічних процесів і схем очищення вод дозволило нам розробити високо-ефективні технології підготовки питної води, відповідно до вимог стандартів якості Європейського рівня. Основним принципом, використовуваним при розробці високоефективних технологій є комплексний підхід, що ґрунтується на поєднанні різних методів очищення води, включаючи коагуляцію, окисний, фотокаталітичний, сорбційний, біологічний, мембранний і електрохімічний методи. Розроблені в нашому інституті технології й пристрої підготовки питної води базуються на раціональному поєднанні мембранних методів з іншими фізико-хімічними методами очищення і знезаражування води і дозволяють одержувати якісну питну воду. Наприкінці відзначимо, що комплексне розв'язання всіх зазначених



Нова концепція забезпечення населення України якісною питною водою

Кожний громадянин України повинен розуміти, що він п'є.

Проблема забезпечення населення безпечною для здоров'я людини якісною, фізіологічно повноцінною питною водою є особливо соціально значущою, оскільки її розв'язання впливає на здоров'я громадян і кардинальним чином впливає на ступінь екологічної й епідемічної безпеки цілих регіонів. Питання про якість питної води давно перейшло національні рамки й набуло глобального характеру. Пріоритет у його постановці належить насамперед вітчизняним ученим: академікові АН СРСР *С.В.Яковлеву* й академікові АН УРСР *Л.А.Кульському*.

У своїх численних роботах вони виходили з того, що суспільство прийшло до розуміння значущості проблеми якості питної води. Гігієнічний конгрес питної води в Брюсселі в 1853 році прийняв перший стандарт, що регламентує якість питної води за 9 показниками, які справляли явний вплив на здоров'я людини і могли бути достовірно визначені в умовах лабораторій водопровідних очисних споруд. Такі показники нормувалися за органолептичними якостями води і властивостями, які утворюють її накип. Надалі виникла необхідність приведення у відповідність технологій підготовки питної води до якості води в джерелі водопостачання на законодавчому рівні.

Реальним втіленням такого підходу є ДСТУ 4808:2007. Поряд з фундаментальними дослідженнями в цій галузі при його розробці особливу увагу надавали досягненням у практиці водопідготовки. ДСТУ 4808:2007 є першим нормативним документом в Україні із серії актів, що гарантують забезпечення населення високоякісною питною водою. У ньому закладені принципово нові підходи забезпечення населення високоякісною питною водою з використанням джерел водопостачання вод з різним ступенем забруднення. Вони полягають у чіткому розмежуванні споживання води на господарсько-побутову й питну (зокрема й для готування їжі) і включають:

- створення й впровадження єдиної взаємозалежної системи державних стандартів з питної води, безпечної для здоров'я людини, а саме, чотирьох стандартів: на джерела питного водопостачання, водопровідну воду

санітарно-гігієнічного призначення, питну воду підвищеної якості, фасовану воду;

- забезпечення населення високоякісною питною водою в обсягах, достатніх для задоволення фізіологічних потреб людини, на місці її одержання в установках бюветного типу; забезпечення водою централізованого водопостачання для санітарно-гігієнічних потреб, що майже в 100 разів перевищує фізіологічну потребу людини;

- використання для населених пунктів і сіл, де централізоване водопостачання відсутнє, установок бюветного типу з одержанням питної води підвищеної якості з поверхневих і підземних джерел;

- одержання в регіонах, де відсутні джерела мало мінералізованих вод, питної води поліпшеної якості з морських і мінералізованих вод шляхом їхнього опріснення.

Практична реалізація такої концепції враховує, що розроблювані конкретні технічні заходи повинні ґрунтуватися на комплексних знаннях про фактори, що впливають на якість питної води. Серед цих факторів першодусім варто враховувати: нерівномірність забезпечення регіонів якісними джерелами водопостачання, із чого випливає необхідність пошуку альтернативних джерел води; стійку тенденцію погіршення якості води в традиційних джерелах питного водопостачання; вторинне забруднення води на очисних спорудах і водогінній мережі; необхідність оперативного реагування зміною технології водопідготовки залежно від якості вихідної води; нові можливості одержання питної води за рахунок застосування сучасних технологій; вплив умов доставки води на її якість і, звичайно ж, стан водопровідного господарства. Крім того, одним із головних напрямків роботи із забезпечення населення якісною питною водою є застосування для оцінки якості кінцевого продукту нових підходів, що дозволяють вірогідно визначити придатність води для її споживання людиною. Введення в стандарти таких методик не тільки дасть можливість контролювати споживчі якості реалізованої води, але й створить стимули для впровадження технічних рішень, що гарантують нетоксичність і фізіологічну повноцінність питної води.

Основними джерелами одержання питної води є поверхневі й підземні

води. Більшість поверхневих вод характеризуються високим рівнем біологічного й хімічного забруднення, зокрема, поверхнево-активними речовинами, нафтопродуктами, фенолами.

В Україні централізоване водопостачання здійснюється в основному за рахунок поверхневих джерел (близько 70%), більшість із яких дуже забруднена. У водойми без очищення надходить близько 35% стічних вод, а з невідповідним санітарним нормам очищенням — 39%. Це є причиною стійкої тенденції до погіршення екологічного стану водойм як за санітарно-хімічними, так і за мікробіологічними показниками. Дослідження, проведені ще в 1994-1997 роках, показали, що кожна четверта-п'ята проба води з водойм, які формально відносили до I і II категорії, не відповідала гігієнічним нормам за санітарно-хімічними і кожна третя-четверта — за мікробіологічними показниками.

Пріоритетними забрудненнями протягом багатьох років залишаються органічні сполуки, зважені речовини, нафтопродукти, феноли, СПАВ, важкі метали й ін. Серед збудників захворювань із води водойм найчастіше виділялися сальмонели, ентеровіруси й інші. Результати моніторингу якості поверхневих вод у місцях водозаборів питних водопроводів свідчили про те, що концентрації пріоритетних шкідливих хімічних речовин наближаються до гранично допустимих (ГПК), а в деяких випадках навіть перевищують їх. При такому становищі різко ускладнюється можливість одержання якісної водопровідної води, тому що наявні очисні споруди практично не забезпечують бар'єрну функцію стосовно техногенних хімічних речовин: вони транзитом надходять у питну воду. Практично всі поверхневі джерела водопостачання України за рівнем забруднення в 1994-1997 роках наблизилися до III класу якості, а за міжнародною класифікацією — до IV-V. При цьому склад очисних споруд і технологія очищення води дотепер залишаються незмінними.

Яскравим прикладом цього стало виявлення у водогінних мережах мікроміцетів (рис.1). Такі гриби проходять транзитом наявні очисні споруди й істотно впливають на захворюваність населення.

Високий рівень забруднення джерел питного водопостачання змусив задуматися над кардинальною проб-



Рис. 1 Мікроміцети, виділені з водопровідної води м. Києва, *Aspergillus niger*, *Cladosporium cladosporioides*



Рис.4. Портативна лабораторія "Аква-Тест"



Рис.2 (зліва). Установа "Вега"

Рис.3 (справа). Установа "Вега-ЗУМ" продуктивністю 20 л/година, продуктивністю 5000 л/година лемою: чи правильний підхід ДЕРЖСТАНДАРТУ 2874-82 "Вода питна" до визначення якості питної води. ДЕРЖСТАНДАРТ 2874-82 передбачає, що безпека для здоров'я людини води може бути оцінена за аддитивною схемою, що ґрунтується на значеннях ГПК (гранично припустимих концентрацій) забруднень того самого класу небезпеки. При цьому не враховується вплив ефекту синергізму домішок на токсичність води.

На основі багаторічних досліджень розроблений комплексний підхід до аналізу питної води методами аналітичної хімії, мікробіології й біотестування, що дозволяє виявити ступінь впливу забруднення води на здоров'я

людини. При цьому також визначається фізіологічна повноцінність питної води. Відповідно до сучасних критеріїв питна вода вважається якісною, якщо вона не містить токсичних речовин будь-якого походження й до складу домішок входить оптимальний набір елементів, необхідних для підтримки функціональної активності людського організму. Виходячи з цього, запропоновано класифікацію якості питних вод за ступенем їхньої токсичності за трьома категоріями: безпечна, небезпечна й дуже небезпечна. При цьому враховано наступні обставини. По-перше, у навколишньому середовищі присутні близько 60000 речовин, які до того ж транс-

формуються. По-друге, різні сполуки виявляють ефект синергізму в токсичності води, який у багатьох випадках не вивчений. Зрозуміло, що, навіть маючи надійні методики аналізу, практично неможливо в реальний термін визначити концентрацію кожної з них.

Результати комплексного тестування поверхневої води, підземних вод, водопровідної хлорованої води й водопровідної води, очищеної на установках типу "Вега", наведені в табл. 1.

Як впливає з табл. 3, хлорування води призводить до різкого збільшення її токсичності. Безпечними для здоров'я людини є підземні (артезіанські) води, відібрані з 9 бюветних

Таблиця 3. Порівняльна характеристика якості вод за результатами комплексного тестування.

| № п/п | Походження води | Індекс загальної токсичності I_{zt} | Індекс цитотоксичності $I_{цт}$ | Індекс гено токсичності $I_{гт}$ | Сумарний індекс токсичності | Категорія [4-6] |
|-------|--|---------------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|-----------------|
| 1 | Поверхневі води (р. Дніпро) | 20 | 20 | 10 | 50 | Не безпечна |
| 2 | Підземні води | 10 | 0 | 0 | 10 | Безпечна |
| 3 | Водопровідна хлорована вода | 60 | 45 | 65 | 170 | Небезпечна |
| 4 | Водопровідна вода після установки "Вега" | 10 | 5 | 5 | 20 | Безпечна |

свердловин м. Києва, у яких відсутні як цитотоксичність, так і генотоксичність. Обробка токсичної водопровідної води на установці типу "Вега" (рис. 2, 3) забезпечує її глибоке очищення, що пов'язане з видаленням дуже токсичних хлороганічних сполук. Установки такого типу розроблені, випробувані й успішно працюють у містах Харків, Барвінково Харківської обл., Львів, Ялта, Донецьк, Новоазовськ Донецької обл., Мукачеве Закарпатської обл., Пологи Запорізької області.

Здавалося б, що шляхом розфасовки якісної питної води з декількох надійно апробованих джерел можна вирішити проблему забезпечення населення якісною питною водою. Однак, проведені дослідження показали, що при зберіганні й транспортуванні води згодом підсилюється її токсичність і відбувається розвиток біомаси, особливо при температурі більше 20°C. Крім того, токсичність води може бути зумовлена додаванням при її розфасовці небезпечних консервантів. Це підтверджують дані табл. 4, в якій наведені відомості про якість фасованих вод, що випускаються в Україні. Як випливає з табл. 4, безпечними для здоров'я людини є тільки чотири марки фасованих питних вод, що надходять для продажу в роздрібну мережу.

1. Зелена зона — категорія "Безпечні води", відповідають високоякісним питним водам.

2. Жовта зона — категорія "Небезпечні води", викликають цитогенетичні зміни в клітинах тест-організмів. Небажані для питного вживання.

3. Червона зона — категорія "Небезпечні води", справляють сильну цито- і генотоксичну дію на тест-організми. Непридатні для питного вживання.

Нині з метою розширення реалізації нової концепції забезпечення населення якісною питною водою Міністерством з питань житлово-комунального господарства України разом з Інститутом колоїдної хімії та хімії води розроблені комплексні програми з впровадження установок бюветного типу "Вега" в Херсонській, Сумській, Житомирській областях, у містах Новоград-Волинський і Бориспіль. Для оперативного контролю якості одержуваної питної води в ІКХХВ ім. А.В.Думанського розроблена портативна лабораторія "Аква-Тест", призначена для контролю наявності найпоширеніших забруднень поверхневих і підземних вод (30 компонентів) (рис.4). Принцип роботи лабораторії раціонально поєднує не-

Таблиця 4. Комплексна оцінка якості фасованих вод за цито- і генотоксичними показниками (2008 р).

| № п/п | Марка фасованої води | ГП (генотоксичні показники МЯ ‰) | ГП (генотоксичні показники 2N ‰) | ІЦ (індекс цитотоксичності) |
|-------|----------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| 1 | Моршинська | 0 | 0 | 2,21 |
| 2 | Сімейна | 0 | 0,35 | 2,65 |
| 3 | Вонара* | 0 | 0,33 | 3,09 |
| 4 | Ст.Миргород | 0 | 0,33 | 3,98 |
| 5 | Архиз* | 0,33 | 0 | 3,09 |
| 6 | Ватерхолл-Селен* | 0 | 0,66 | 3,94 |
| 7 | Аква мінерале* | 0,33 | 0,33 | 3,98 |
| 8 | Ватерхолл* | 0 | 0,99 | 5,70 |
| 9 | Рокадівська* | 0 | 0,66 | 7,52 |
| 10 | Ордана | 0,33 | 1 | 10,33 |
| 11 | Вода питна | 0,66 | 0,99 | 10,48 |
| 12 | Bevivita | 0,66 | 0,99 | 10,56 |
| 13 | Vitel | 0,33 | 1,67 | 10,56 |
| 14 | Hipp | 0,67 | 1,34 | 10,62 |
| 15 | Демідовська* | 0,99 | 1,33 | 11,40 |
| 16 | Пушкарська жива* | 0,99 | 1,33 | 11,84 |
| 17 | Святе джерело* | 0,33 | 2,01 | 14,16 |
| 18 | Софія Київ | 0,99 | 1,33 | 16,11 |
| 19 | Прозора | 0,33 | 2,01 | 16,14 |
| 20 | Шишкін ліс* | 1,66 | 1,33 | 16,24 |
| 21 | Сенежська* | 0,99 | 2,34 | 16,23 |
| 22 | Доктор | 1,67 | 2,34 | 18,14 |
| 23 | Аква-ареал* | 1,67 | 2,67 | 20,61 |
| 24 | Каліпсо | 1,67 | 3 | 20,35 |
| 25 | Humana | 1,67 | 3 | 20,35 |
| 26 | Новотерська гірська* | 1,67 | 3 | 23,25 |
| 27 | SPA | 2,01 | 3,66 | 22,14 |
| 28 | Знаменівська | 2,01 | 3,66 | 22,12 |
| 29 | Пілігрим* | 2,34 | 4 | 28,07 |
| 30 | Contrex | 3 | 4 | 27,34 |
| 31 | Гірська вершина* | Тест-організми | загинули | |

* марка води російського виробництва

високу вартість і широкі функціональні можливості.

Висновки

Аналіз стану одного з найважливіших складників біосфери — гідросфери і її взаємодії з розвитком суспільства і формуванням зовсім нової штучної реконструкції біосфери в ноосферу і далі в техносферу дає змогу з досить високим ступенем упевненості констатувати перехід цивілізації в якийсь особливий стан. Біосфера в класичному її стані більше не існує. Ми є свідками апокаліпсису біосфери, що почався у середині ХХ сторіччя. Перетворюючи навколишнє середо-

вище — біосферу, частиною якого є сама людина, суспільство недооцінює той факт, що, створюючи техногенне середовище свого існування, порушує базові закони біосфери, закони світобудови. І сьогодні Людина як істота біосферного походження мусить знайти нові шляхи свого виживання і розвитку. У ХХІ сторіччі екологія перетворюється в науку, що вивчає взаємодію трьох глобальних співіснуючих складників світу: біосфери-ноосфери-техносфери. Вирішальну роль у їхній взаємодії відіграє людина. Майбутнє нашої цивілізації визначається рівнем усвідомлення змін, що відбуваються у навколишньому світі.