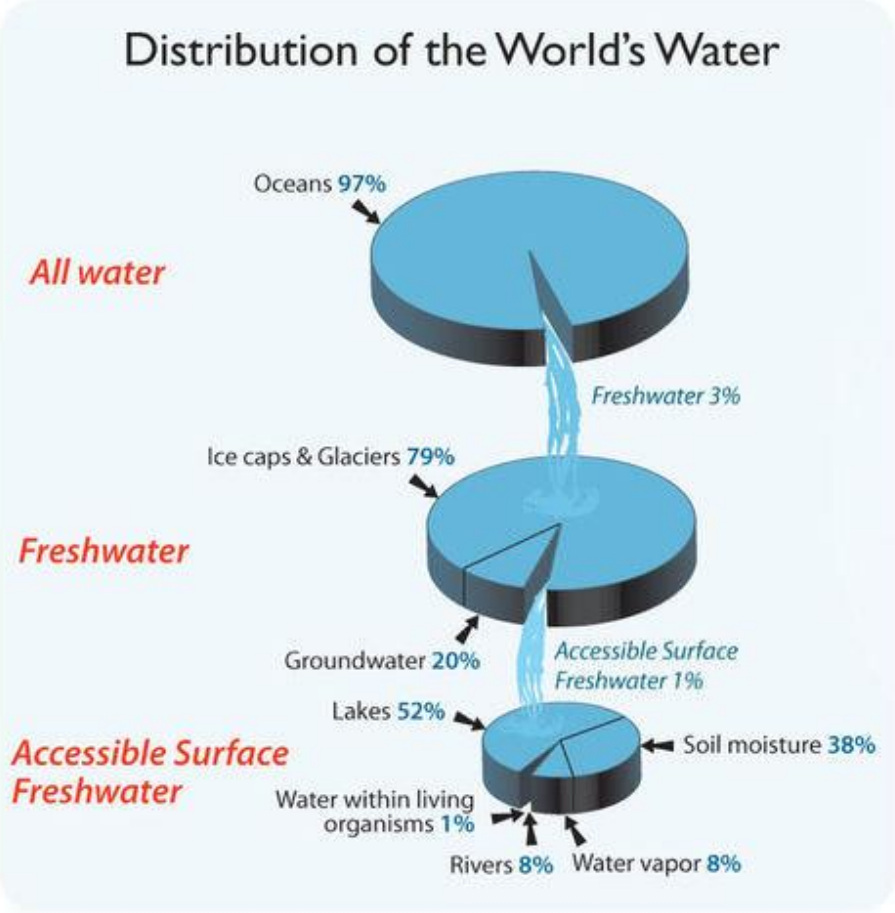
Вода

- Вода як універсальний розчинник
- Фізичні та хімічні властивості води
- Твердість води та методи її усунення

Вода



Потреба у воді

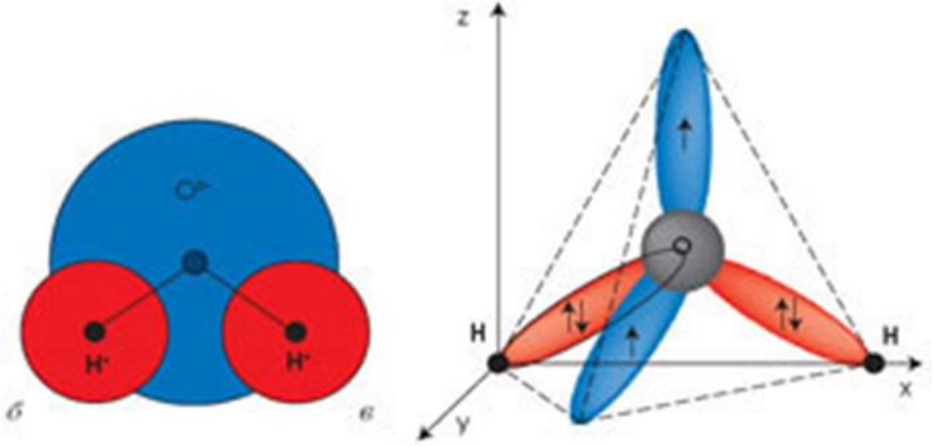
- на виробництво 1 т цукру витрачається 100 м^3 води;
- 200 м^3 води потрібно на виробництво 1 т паперу;
- при виробництві алюмінію на кожну тону металу припадає 1000 м^3 води.

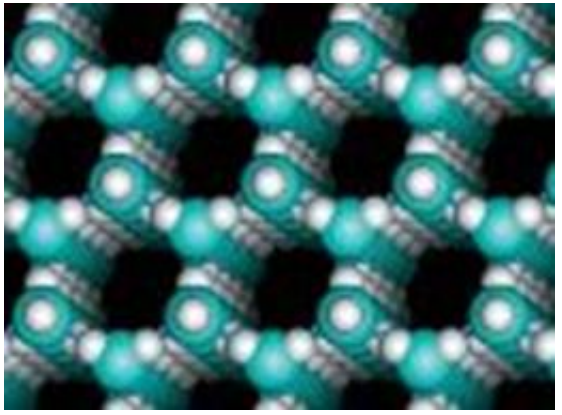
Добова потреба людини становить 500 л, причому для пиття з цього об’єму витрачається приблизно 0,5 % (2,5 л).

Вода

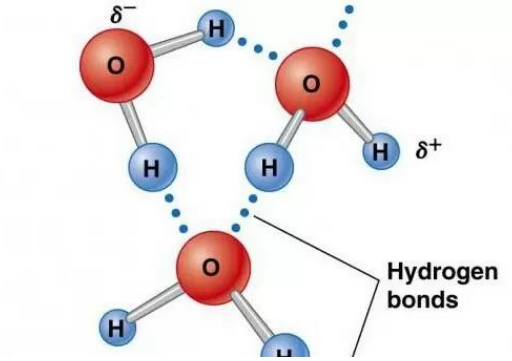
Молекулярна формула	H_2O
Молярна маса	18,01528(33) г/моль
Зовнішній вигляд	прозора безбарвна рідина з блакитним відтінком
Густина	1 г/см³ (при 4 °C)
Температура плавлення	0 °C
Температура кипіння	99,98 °C

Молекула води має кутову будову. Через значну різницю електронегативностей атомів оксигену та гідрогену ця молекула сильно полярна. Це робить воду добрим розчинником багатьох полярних сполук (як неорганічних, так і органічних), враховуючи той факт, що за стандартних умов вода є рідиною.





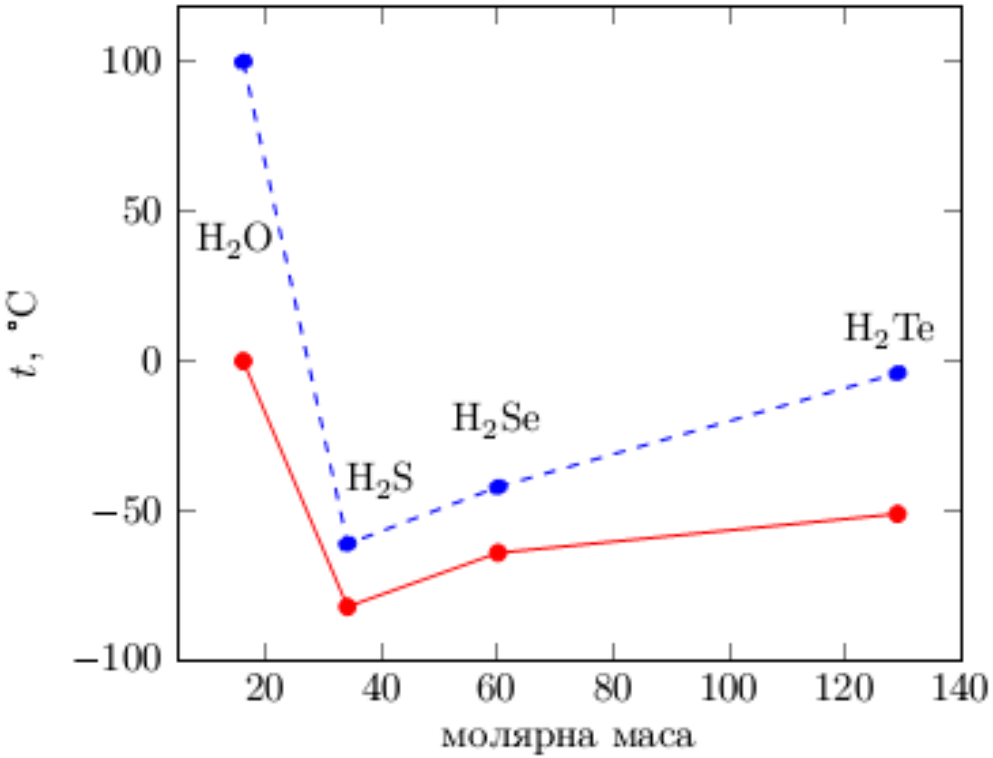
За рахунок водневих зв’язків асоційовані (зв'язані) молекули H_2O утворюють ажурні просторові структури.





Аномальні фізичні властивості води

- Вода має найвищу теплоємність (після NH_3).
- Високі теплоти плавлення і випаровування води дозволяють підтримувати тепловий баланс у природі та на виробництві.
- Найвища (після HCN) діелектрична проникність води (80) має наслідком високу розчинну здатність.
- Аномально висока температура плавлення та кипіння, робить воду рідиною за звичайних умов більшості кліматичних поясів Землі.
- Для води характерний винятково високий поверхневий натяг, що важливо для адсорбційних процесів, для пересування розчинів по тканинах (кровообіг)



Залежність температури плавлення (нижня лінія) та кипіння (верхня лінія) у ряду однотипних сполук H_2E

Агрегатний стан води





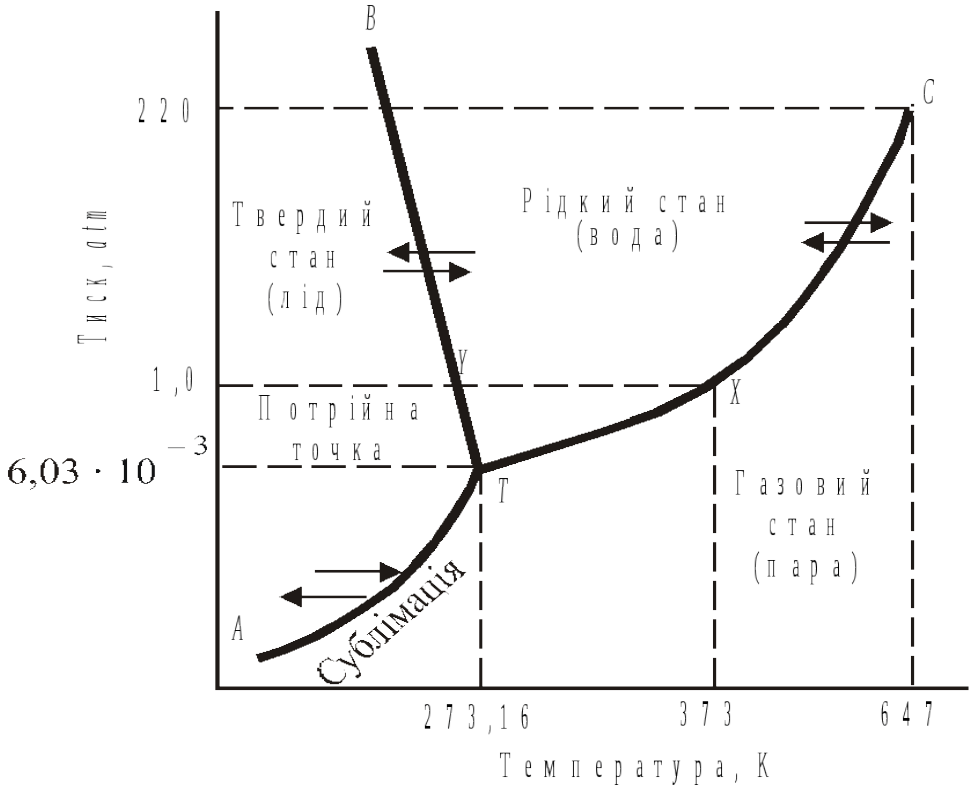


Кристалічний
(лід)

Рідкий

Газоподібний
(пара)

Діаграма стану води



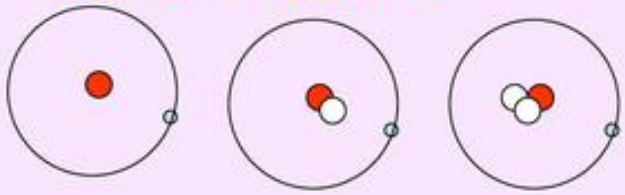
Фазова діаграма води – графічне відображення рівноважного стану фаз води (рідини, водяної пари, та різних модифікацій льоду). Особливості:

- *кристал льоду подібний до кристалу алмазу, але в його кристалічній гратці є пустоти – густина менша, ніж у води;*
- *крига розриває ємності при замерзанні рідкої води внаслідок збільшення об'єму (зменшення густини);*
- *водойми не промерзають до дна навіть у сильні морози, адже крига плаває на поверхні рідкої води і перешкоджає її подальшому охолодженню.*

Ізотопний склад води

36 видів молекул!

- **Ізотопи водню**



^{1}H протій ^{2}H дейтерій ^{3}H тритій

- **Стабільні ізотопи кисню**

^{16}O (99,759%)

^{17}O (0,204%)

^{18}O (0,037%)

- **Стійкі ізотопи води**

$^{1}H_2{}^{16}O$

$^{1}H_2{}^{17}O$

$^{1}H_2{}^{18}O$

99,97% “легка” вода

$^{1}H\,^{2}H^{16}O$ – 0,03%, “напівважка”

“напівважка” і “важка” вода, сумарний вміст $10^{-5} – 10^{-5}$%

$^{1}H\,^{2}H^{17}O$, $^{1}H\,^{2}H^{18}O$

$^{2}H_2{}^{16}O$, $^{2}H_2{}^{17}O$, $^{2}H_2{}^{18}O$

Ізотопний склад води

H_2O звичайна D_2O важка T_2O надважка

- ($t_{пл}(D_2O)$ = 3,8 °C, $t_{кип}(D_2O)$ = 101,43 °C)
- У важкій воді розчинність більшості сполук зменшена, порівняно зі звичайною водою.
- У D_2O помітно сповільнюються хімічні та біологічні процеси.
- T_2O і розчинені у ній сполуки піддаються радіолізу – розкладанню сполук під впливом іонізуючого випромінення

$$^{6}_{3}\mathrm{Li} + n = {}^{3}_{1}\mathrm{H} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$$

- Використання T_2O обмежене термоядерними реакціями

Хімічні властивості води

- Вода хімічно доволі інертна та термодинамічно стійка сполука
- $2H_2O = 2H_2 + O_2$ (t > 1000 °C, при 3000 °C розкладається ≈ 10 %)
- Дисоціює частково:

$$H_2O \leftrightarrows H^+ + OH^-$$

- Поводить себе як кислота або основа (амфотерна):

$$N_2H_4 + HOH = N_2H_5^+ + OH^-$$

$$HCl + HOH = H_3O^+ + Cl^-$$

- Вона реагує з активними металами як окисник

$$2K + 2H_2O = 2KOH + H_2$$

Хімічні властивості води

- **Окисник**

$$2CrSO_4 + 2H_2O = H_2 + 2CrOHSO_4$$

- **Синтез-газ**

$$C + H_2O \xrightarrow{>1000\ ^\circ C} CO + H_2,$$

$$CH_4 + H_2O \xrightarrow{800\ ^\circ C,\ Ni} CO + 3H_2.$$

- **Відновник**

$$4KMnO_4 + 2H_2O = 4MnO_2 + 4KOH + 3O_2$$

- **З оксидами багатьох металів і неметалів - з утворенням основ і кислот (гідратація):**

$$Na_2O + H_2O = 2NaOH$$

$$SO_3 + H_2O = H_2SO_4$$

Хімічні властивості води

- З деякими активними неметалами - з утворенням кислот:

$$Cl_2 + H_2O = HCl + HClO$$

- Реакція Кучерова

$$C_2H_2 + H_2O = CH_3COH$$

- Гідроліз

$$BiCl_3 + H_2O = BiOCl + 2HCl$$

- Кристалогідрати
- Легко входить до складу комплексних сполук (ліганд)



натрій сульфат декагідрат $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ — глауберова сіль



ферум(II) сульфат гептагідрат $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ — залізний купорос



купрум(II) сульфат пентагідрат $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ — мідний купорос



кальцій сульфат дигідрат $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ — гіпс



натрій карбонат декагідрат $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$ — кристалічна сода



калій хром(III) дисульфат додекагідрат $KCr(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ — хромокалієві галуни

Характеристики природної води

- ✓ Вміст грубодисперсних домішок
- ✓ Колір
- ✓ Смак та запах
- ✓ Окиснюваність
- ✓ Кислотність (або лужність)
- ✓ За загальним вмістом солей воду класифікують таким чином:

- до 0,1 % – прісна вода;
- до 0,1 – 5 % – мінералізована вода;
- більше 5 % – розсіл.

- ✓ Сухий залишок

$$NH_4HCO_3 \xrightarrow{t} NH_3\uparrow + CO_2\uparrow + H_2O\uparrow$$

Методи очищення води

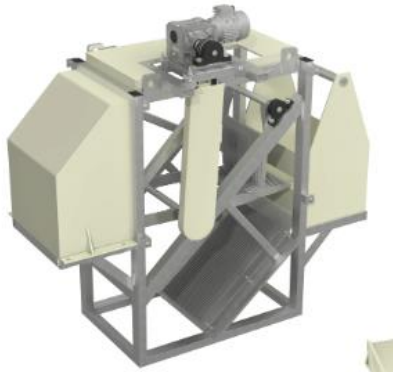
Механічні методи

1. **Решітки — перший бар’єр очищення** (затримують великі механічні включення — ганчір’я, пластикові відходи, пляшки, гілки тощо)

2. **Барабанні сита — ефективне вилучення дрібних частинок** (відділяють із потоку дрібнодисперсні частинки розміром від 0,25 мм, які пройшли крізь решітки)

3. **Пісколовки — видалення мінеральних частинок** (осаджують важкі неорганічні домішки (пісок, уламки скла, камінці), щоб запобігти зношуванню насосів і трубопроводів)

4. **Відстійники — завершальний етап механічного очищення** (видаляються завислі частинки, які не осіли на попередніх етапах. В результаті вода очищується на 60–70% перед надходженням на біологічну очистку. Може використовуватись попередня коагуляція)





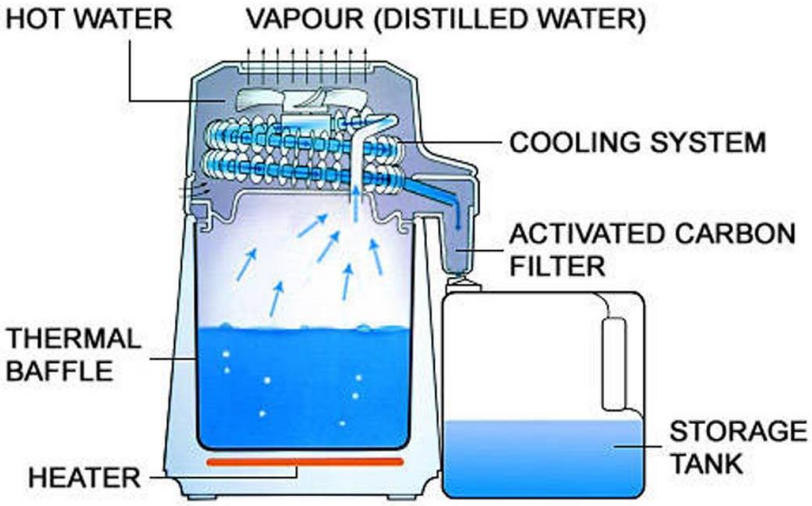


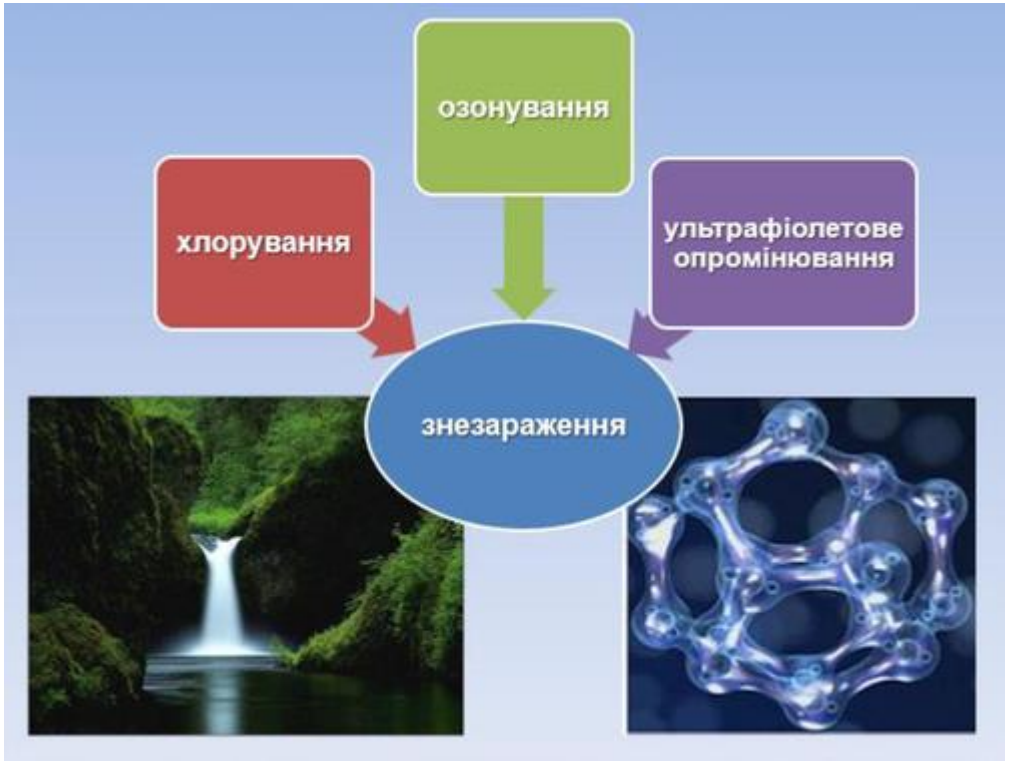


Методи очищення води



1. **Аерація —** видаляються леткі домішки
2. **Знезараження (дезінфекція):** знищення бактерій, вірусів та найпростіших мікроорганізмів шляхом кип'ятіння, ультрафіолетового опромінення, ультразвуку, хлорування, озонування або використання спеціальних таблеток з пероксидом водню, діоксидом хлору чи йодом
3. **Дистиляція —** очищення перегонкою





Твердість води

- Твердість води - показник, що визначає вміст іонів-накипоутворювачів (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Fe^{2+}) у воді
- $T_{заг}$ = c(1/2Ca^{2+}) + c(1/2Mg^{2+}) - за визначенням
- $[T_{заг}]$ = моль/м^3 = ммоль/л
- Класифікація води за загальною твердістю

➢ менше 4 моль/м^3 - м'яка
➢ 4 - 8 моль/м^3 - середньої жорсткості
➢ 8 - 12 моль/м^3 - жорстка
➢ більше 12 моль/м^3 - дуже жорстка



Утворення накипу у твердій воді

- Тверда вода непридатна майже для всіх галузей виробництва.
- При кип'ятінні такої води утворюється накип, який погано проводить тепло, внаслідок чого збільшуються витрати.
- Накип викликає інтенсивне руйнування стінок котлів, що може призвести до аварії.





Що відбувається з милом у твердій воді

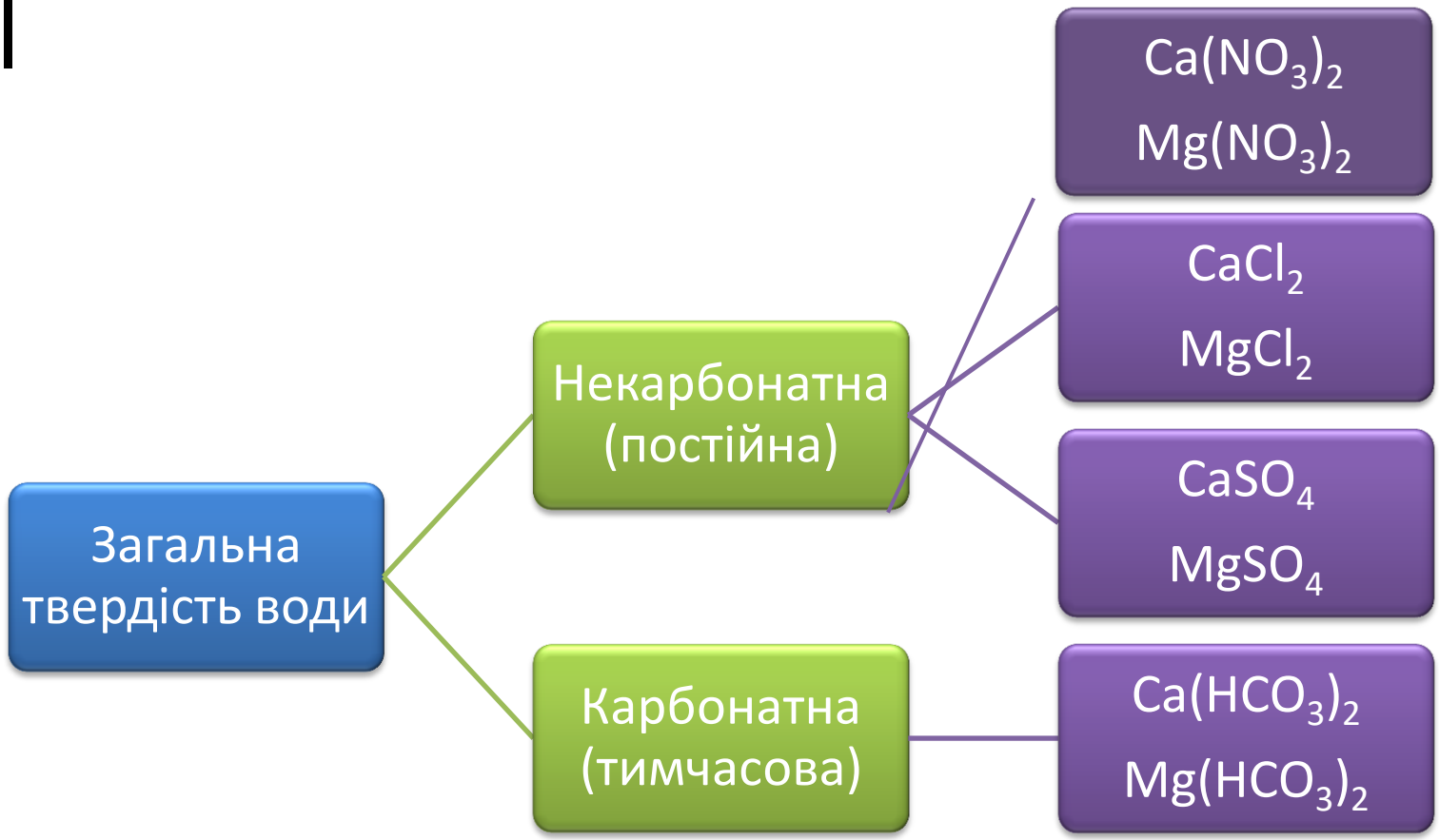
- Розчинний у воді стеарат натрію ($C_{17}H_{35}COONa$), який становить головну складову частину мила, переходить у нерозчинний стеарат кальцію (або магнію), утворюючи так зване кальцієве (або магнієве) мило:

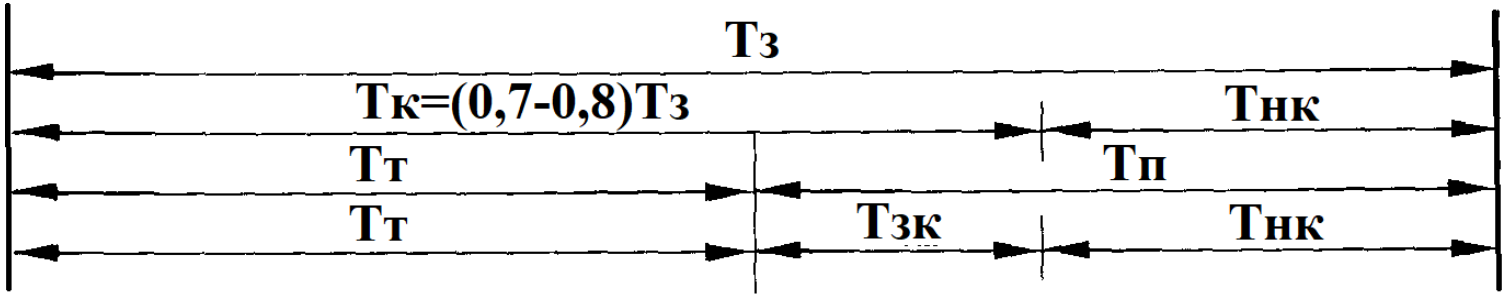
$$2C_{17}H_{35}COONa + CaSO_4 = Ca(C_{17}H_{35}COO)_2 \downarrow + Na_2SO_4$$

- Багато мила витрачається непродуктивно.
- Утворюваний осад кальцієвого і магнієвого мила міцно осідає на волокнах тканин і забруднює їх



Типи твердості води





Карбонатна твердість води

- Тимчасова – легко усунути
- Гідрокарбонати легко розкладаються при нагріванні

Усунення карбонатної твердості(пом'якшення):

а)Кипятіння води:

$Ca(HCO_3)_2 = CaCO_3\downarrow + CO_2 + H_2O$

$Mg(HCO_3)_2 = MgCO_3\downarrow + CO_2 + H_2O$

$Mg(HCO_3)_2 = Mg(OH)_2\downarrow + 2CO_2$

б)Додавання соди:

$Ca(HCO_3)_2 + Na_2CO_3 = CaCO_3\downarrow + 2NaHCO_3$

$Mg(HCO_3)_2 + Na_2CO_3 = MgCO_3\downarrow + 2NaHCO_3$

в)Додавання гашеного вапна(у промисловості):

$Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 = 2CaCO_3\downarrow + 2H_2O$

$Mg(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 = CaCO_3\downarrow + MgCO_3\downarrow + 2H_2O$

Некарбонатна твердість води

- Постійна – не можна усунути нагріванням
- Солі при нагріванні не розкладаються

Усунення некарбонатної твердості води (реагентні методи):

а) Содовий метод:

$$CaSO_4+Na_2CO_3=CaCO_3\downarrow+Na_2SO_4$$
$$MgSO_4+Na_2CO_3=MgCO_3\downarrow+Na_2SO_4$$
$$CaCl_2+Na_2CO_3=CaCO_3\downarrow+NaCl$$

б) Фосфатний метод:

$$3CaSO_4+2Na_3PO_4=Ca_3(PO_4)_2\downarrow+3NaSO_4$$
$$3MgSO_4+2Na_3PO_4=Mg_3(PO_4)_2+Na_2SO_4$$

Інші методи усунення твердості води

Вапняковий метод: додавання $Ca(OH)_2$

$CO_2 + Ca(OH)_2 = CaCO_3\downarrow + H_2O$

$Ca(HCO_3) + Ca(OH)_2 = 2CaCO_3\downarrow + 2H_2O$

$Mg(HCO_3)_2 + 2Ca(OH)_2 = Mg(OH)_2\downarrow + 2CaCO_3\downarrow + 2H_2O$

$MgCl_2 + Ca(OH)_2 = Mg(OH)_2\downarrow + CaCl_2$

$MgSO_4 + Ca(OH)_2 = Mg(OH)_2\downarrow + CaSO_4$

Ідконатровий метод: додавання NaOH

$Ca(HCO_3)_2 + 2NaOH = Na_2CO_3 + CaCO_3\downarrow + 2H_2O$

$Mg(HCO_3)_2 + 4NaOH = 2Na_2CO_3 + Mg(OH)_2\downarrow + 2H_2O$

Сучасний спосіб пом’якшення води

Спосіб заснований на використанні катіонітів.

- Катіоніти — це тверді речовини, нерозчинні у воді, до складу яких входять рухливі катіони Na^+.
- Спрощено їх зображують так: Na_2R.
- Катіони Na^+ можуть обмінюватися на катіони навколишнього середовища, наприклад Ca^{2+} і Mg^{2+}.
- Під час пропускання води крізь йонобмінну колонку йони Ca^{2+} і Mg^{2+} затримуються в ньому, а катіони Na^+ переходять у воду:

$$Na_2R + Ca^{2+} = CaR + 2Na^+$$

- Іоніт після пом’якшення води можна відновити

Визначення карбонатної твердості

Об'ємний метод (Кислотно-основне титрування) — найточніший лабораторний метод.

Суть: Певний об'єм води титрують розчином сильної кислоти (зазвичай соляної (HCl)) у присутності індикатора (метилового оранжевого). Кислота нейтралізує гідрокарбонат-іони, які мають лужну реакцію:

$$Ca(HCO_3)_2 + 2HCl = CaCl_2 + 2H_2O + 2CO_2$$

$$Mg(HCO_3)_2 + 2HCl = MgCl_2 + 2H_2O + 2CO_2$$

Результат: За об'ємом витраченої кислоти вираховують лужність води, яка для більшості природних вод практично дорівнює карбонатній твердості.



Визначення загальної твердості води

Лабораторний метод (комплексонометричне титрування)

Це стандартний і найточніший метод аналізу

Суть: Воду титрують розчином **трилону Б** (динатрієва сіль етилендіамінтетраоцтової кислоти).

Використовують спеціальний буферний розчин та індикатор (наприклад, *еріохром чорний Т*).

Результат: У ході титрування за зміною кольору розчину визначають кількість іонів кальцію та магнію і проводять розрахунок.

