

В.І. Доценко, Д.М. Онопрієнко, В.Ю. Запорожченко, Т.І. Ткачук

*Присвячується 100 річчю Дніпровського державного  
аграрно-економічного університету*

# **Оцінка якості води для поливів сільськогосподарських культур**

Навчальний посібник

Для здобувачів вищої освіти, які навчаються за спеціальностями  
192 «Будівництво та цивільна інженерія»,  
194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології»,  
183 «Технології захисту навколишнього середовища»,  
101 «Екологія»

Дніпро  
Акцент ПП  
ДДАЕУ  
2022

**УДК 631.67.03**

**О 65**

*Рекомендовано до видання вченою радою Дніпровського державного аграрно-економічного університету (протокол № 3 від 01.12.2022 р.)*

**Рецензенти:**

**Коковіхін С.В.** – заступник директора з наукової роботи Інституту зрошувального землеробства НААН, доктор сільськогосподарських наук

**Петрук В.Г.** завідувач кафедри екології, хімії та технологій захисту довкілля, директор НДІ екологічного проектування та природоохоронних технологій Вінницького національного технічного університету, Заслужений природоохоронець України, доктор технічних наук, професор

**Рула І.В.** – доцент кафедри хімії ДДАЕУ, кандидат технічних наук

**Доценко В.І., Онопрієнко Д.М., Запорожченко В.Ю., Ткачук Т.І.**

**О 65** Оцінка якості води для поливів сільськогосподарських культур: навчальний посібник. Дніпро: ДДАЕУ, Акцент ПП, 2022. 149 с.

**ISBN**

Розглянуто основні засади оцінки якості поливної води за агрономічними, екологічними і технічними критеріями. Агрономічні критерії спрямовані на запобігання погіршенню родючості ґрунту (засоленню, осолонцюванню, підлугуванню) та токсичному впливу на самі сільськогосподарські культури. Екологічні критерії спрямовані на запобігання погіршенню якості продукції рослинництва (накопиченню шкідливих речовин у врожаї) та на зменшення негативного впливу на навколишнє природне середовище. Технічні критерії спрямовані на запобігання шкідливому впливу на елементи зрошувальної мережі та гідромеліоративної системи. Окремо виділено особливості оцінки якості стічних вод, що використовуються для зрошення сільськогосподарських культур.

Навчальний посібник рекомендований для здобувачів вищої освіти за спеціальностями: 192 «Будівництво та цивільна інженерія», 194 «Гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології», 183 «Технології захисту навколишнього середовища», 101 «Екологія».

Матеріали будуть корисними для фахівців проектних і експлуатаційних організацій водного господарства.

**УДК 631.67.03**

**ISBN**

© В.І.Доценко, Д.М. Онопрієнко,  
В.Ю. Запорожченко, Т.І. Ткачук,

© Дніпровський державний аграрно-економічний  
університет, 2022

# Зміст

ВСТУП .....	4
1. АГРОНОМІЧНІ КРИТЕРІЇ ЯКОСТІ ЗРОШУВАЛЬНОЇ ВОДИ.....	6
1.1. Іони, що враховують в агрономічних критеріях якості зрошувальної води.....	6
1.2. Показники якості зрошувальної води за агрономічними критеріями .....	11
1.3. Оцінка якості зрошувальної води за небезпекою вторинного засолення ґрунту .....	14
1.4. Підлучення ґрунту при зрошенні .....	16
1.5. Токсичний вплив зрошувальної води на рослини .....	17
1.6. Оцінка якості зрошувальної води за небезпекою осолонцювання ґрунтів .....	18
1.7. Оцінка якості зрошувальної води за термодинамічними показниками.....	26
1.8. Класифікація природних вод відповідно до заходів, необхідних для їх поліпшення ....	29
1.9. Оптимальний температурний режим зрошувальної води.....	33
1.10. Заходи щодо підвищення якості зрошувальної води .....	33
1.10.1. Зменшення мінералізації зрошувальної води.....	34
1.10.2. Поліпшення складу поливної води.....	38
1.10.3. Критерії оцінки і вибір методів меліорації води перед поливами .....	48
1.11. Зрошення дренажно-скидними водами .....	50
1.12. Поливи морськими водами .....	52
1.13. Зрошення водою у зміненому стані .....	53
<i>Запитання для самоконтролю</i> .....	57
2. ЕКОЛОГІЧНІ КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ЗРОШУВАЛЬНОЇ ВОДИ.....	60
2.1. Оцінка якості зрошувальної води за показниками вмісту макроелементів живлення....	61
2.2. Біохімічне споживання кисню .....	64
2.3. Оцінка якості зрошувальної води за вмістом мікроелементів та важких металів.....	65
2.4. Вплив пестицидів на якість зрошувальної води .....	86
2.5. Оцінка якості води за вмістом фенолів, ціанідів, нафтопродуктів та детергентів .....	96
2.6. Оцінка санітарно-бактеріологічної безпеки зрошувальної води.....	98
2.7. Нормування радіоактивного забруднення зрошувальної води .....	101
<i>Запитання для самоконтролю</i> .....	106
3. ТЕХНІЧНІ КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ЗРОШУВАЛЬНОЇ ВОДИ.....	108
3.1. Оцінка придатності води для зрошення за ступенем впливу на елементи систем кра- плинного зрошення.....	108
3.2. Індекс стабільності води .....	113
3.3. Очищення води від каламутності та біопланктону .....	120
3.4. Вплив зрошувальної води на стійкість бетонних і залізобетонних конструкцій .....	123
<i>Запитання для самоконтролю</i> .....	125
4. ОЦІНКА ТОКСИЧНОСТІ СТІЧНИХ ВОД І УМОВИ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ ЗРОШЕННЯ.....	126
4.1. Види та оцінка стічних вод для зрошення.....	127
4.2. Використання землеробських полів зрошення .....	131
4.3. Особливості поливного режиму стічними водами .....	133
4.4. Вимоги до якості стічних вод .....	134
4.5. Вимоги до якості осадів стічних вод.....	135
4.6. Вплив стічних вод на родючість ґрунту .....	138
4.7. Вимоги щодо охорони довкілля при зрошенні стічними водами .....	139
4.8. Ефективність зрошення стічними водами .....	141
<i>Запитання для самоконтролю</i> .....	145
ВИСНОВОК .....	147
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	149

## ВСТУП

У ХХ столітті штучне зрошення сільськогосподарських культур набуло широкого розповсюдження на всіх континентах у світі. Нині на планеті Земля зрошують понад 270 млн га, що становить 18 % загальної площі ріллі, на яких виробляють 40 % обсягу сільськогосподарської продукції, тобто продуктивність одного зрошеного гектара більше ніж удвічі перевищує продуктивність незрошеного (Балюк С., Воротинцева Л., Дрозд О. 2013).

В Україні, де значна територія знаходиться в зоні нестійкого і недостатнього зволоження, продовольче та ресурсне забезпечення також значною мірою залежить від наявності, стану та ефективного використання зрошуваних земель. Зрошені землі розміщені в Україні переважно у степовій та лісостеповій природно-кліматичних зонах. Загальна площа їх у 2020 році становила 2,1 млн га, а фактично щороку поливали 0,5–0,7 млн га.

Зрошене землеробство є вагомим (до 40 %) водоспоживачем у сільському господарстві України, проте останніми роками через зменшення водозабору на зрошення, споживання води в цій галузі істотно знижується. При цьому характерним є збільшення частки водовідведення у сумарному водоспоживанні. За такої ситуації першочергового значення для ефективного, екологічно безпечного використання зрошуваних земель, особливо щодо збереження і відтворення родючості зрошуваних ґрунтів, набувають якість води у джерелах зрошення та її трансформація на шляху від джерела зрошення до поля.

Оцінювання якості зрошувальних вод є однією з актуальних проблем загального і меліоративного ґрунтознавства як в Україні, так і за її межами. За останні 50 років у цій галузі накопичено значний експериментальний і виробничий матеріал. Аналізуючи і узагальнюючи вітчизняний і світовий досвід оцінювання якості води для зрошення, можна відзначити одну важливу особливість, а саме поступовий перехід досліджень від простих моделей до більш складних (вода – ґрунт – рослина).

Наприклад, згідно з вимогами світової продовольчої організації ФАО до якості води, SAR води наводили диференційовано, з урахуванням властивостей ґрунтів, їхнього мінералогічного складу і величини ємності катіонного обміну. За сучасного підходу до оцінювання якості зрошувальної води застосовують більш складну систему зв'язків, що враховує як солестійкість рослин, склад води та ґрунтів, так і агрономічні, санітарні й гідротехнічні показники.

Агрономічні критерії придатності води для зрошення установлює ДСТУ 2730, згідно з яким нормування якості зрошувальної води здійснюють з урахуванням складу і властивостей ґрунтів (ДСТУ 2730:2015).

Під час оцінювання якості зрошувальної води виділяють три класи її придатності: I клас – придатна, II клас – обмежено придатна, III клас – непридатна.

Зрошувальна вода I класу – придатна для зрошення без обмежень.

Зрошувальну воду II класу використовують за умови обов'язкового застосування комплексу заходів запобігання деградації ґрунтів або поліпшення води до показників I класу.

Зрошувальна вода III класу – вода, показники якості якої виходять за межі значень, що встановлені для зрошувальних вод II класу, непридатна для зрошення без попереднього поліпшення її складу.

Оцінювання якості зрошувальної води має охоплювати такі показники: сума токсичних солей в еквівалентах хлорид-іонів ( $eCl^-$ ), мекв/дм<sup>3</sup>; величину рН – рNa, тобто воднево-натрієвий термодинамічний потенціал, що характеризує процес підлуження ґрунту; вміст лужності від нормальних карбонатів ( $CO_3^{2-}$ ) і токсичної лужності ( $HCO_3^- - Ca^{2+}$ ), мекв/дм<sup>3</sup>; відношення суми лужних катіонів натрію і калію (мекв/дм<sup>3</sup>) до суми всіх катіонів (мекв/дм<sup>3</sup>), %; перевищення концентрації катіону магнію над концентрацією катіону кальцію, мекв/дм<sup>3</sup>; вміст аніону хлору ( $Cl^-$ ), мекв/дм<sup>3</sup>; термодинамічні потенціали; температуру води, °С.

Екологічні критерії придатності води для зрошення установлює ДСТУ 7286:2012. Оцінювання якості природної води для зрошення за екологічними критеріями здійснюють з метою запобігання можливому негативному впливу на довкілля та здоров'я населення, а саме: змін стійкості ландшафтів і агроландшафтів, санітарно-гігієнічного стану поверхневих та підземних вод тощо. Оцінювання якості поверхневих та підземних вод під час зрошення виконують за показниками, що характеризують хімічний склад, загальноєкологічну якість та фітотоксичність, санітарно-токсикологічну та водно-міграційну здатність хімічних елементів і речовин, бактеріологічну забрудненість, вміст радіоактивних речовин.

Тривалими науковими дослідженнями встановлено, що з початком зрошення змінюються умови функціонування всіх складових навколишнього природного середовища, у тому числі відбуваються зміни у направленості та швидкості ґрунтових процесів. Результати цих змін залежать від багатьох чинників: якості поливної води, об'ємів подавання води на поля, кліматичних і гідрогеологічних умов регіонів розвитку зрошення, буферних властивостей ґрунтів, техніки та технологій зрошення, загальної культури землеробства.

Узагальнення методів оцінки впливу зрошувальної води на врожайність сільськогосподарських культур і якість продукції рослинництва, вплив на навколишнє природне середовище і на технічне оснащення є предметом цього навчального посібника.

Номенклатура показників повинна забезпечити комплексну оцінку якості води для зрошення з достатньою повнотою за всіма трьома критеріями, виходячи із необхідності високоефективного і стабільного функціонування агроєко-системи, отримання максимально можливої кількості сільськогосподарської продукції потрібної якості і охорони навколишнього середовища.

# 1. АГРОНОМІЧНІ КРИТЕРІЇ ЯКОСТІ ЗРОШУВАЛЬНОЇ ВОДИ

Відповідно до ДСТУ 2730:2015, до агрономічних критеріїв оцінювання якості природної води для зрошення належать:

- збереження і підвищення родючості ґрунтів зокрема попередження процесів засолення, осолонцювання, злитизації і порушення біологічного режиму ґрунтів;
- забезпечення планової врожайності сільськогосподарських культур, зокрема продуктивності та інтенсивності розвитку;
- забезпечення необхідної якості сільськогосподарської продукції, зокрема повноцінності та доброякісності.

За агрономічними критеріями визначають якість води для зрошення за її впливом на ґрунти, для збереження і підвищення родючості, а також запобігання процесам засолення, осолонцювання і підлуження.

Нормування показників якості зрошувальної води за агрономічними критеріями здійснюють з урахуванням складу і властивостей ґрунтів за умови, коли рівень ґрунтових вод не перевищує критичного рівня при рекомендованому режимі зрошення.

## 1.1. Іони, що враховують в агрономічних критеріях якості зрошувальної води

Аналіз якості води за агрономічними критеріями виконують за наявністю основних іонів, які переважають у природній воді: аніони – карбонати ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), гідрокарбонати ( $\text{HCO}_3^{1-}$ ), сульфати ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), хлориди ( $\text{Cl}^{1-}$ ); катіони – кальцій ( $\text{Ca}^{2+}$ ), магній ( $\text{Mg}^{2+}$ ), натрій ( $\text{Na}^{1+}$ ), калій ( $\text{K}^{1+}$ ).

**Карбонати** (лат. carbo (carbonis) – «вугілля») солі вугільної кислоти (наприклад, сода, поташ). Молярна маса карбонат-іона 60 мг (вуглець – 12 мг і три атоми кисню по 16 мг). Карбонат-іон двовалентний тому еквівалентна маса його складає 30 мг.

Розрізняють нормальні (середні) солі з аніоном  $\text{CO}_3^{2-}$  (наприклад,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) та кислі (гідрокарбонати) з аніоном  $\text{HCO}_3^{1-}$  (наприклад,  $\text{NaHCO}_3$ ). У воді розчинні нормальні солі лужних металів, амонію й талію, і майже всі гідрокарбонати. Поширені природні карбонати: мінерали кальцит і доломіт. За походженням більшість природних карбонатів є продуктами вивітрювання і седиментації. Значна частина їх виникає також як результат ендегенних процесів у гідротермальних жилах.

Із солей карбонатної кислоти найбільш негативний вплив на рослини мають карбонат натрію (кальцинована сода)  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , карбонат калію (поташ)  $\text{K}_2\text{CO}_3$  і карбонат кальцію (вапняк, крейда, мармур)  $\text{CaCO}_3$ . Їх застосовують у будівництві, в хімічній промисловості, в оптиці тощо.

Для рослин найбільш небезпечною є кальцинована сода  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  – єдина сіль, яка зустрічається в природі у значній кількості. Вода, яка містить це поєднання навіть у незначній кількості, може бути небезпечна для рослин.

Карбонати є ознакою лужного середовища, тому часто застосовуються для нейтралізації кислотності ґрунтів – вапнування ( $\text{CaCO}_3$ ).

**Гідрокарбонати** (застаріла назва – бікарбонати) – кислі солі карбонатної кислоти  $\text{H}_2\text{CO}_3$  (містять аніон  $\text{HCO}_3^{1-}$ ). Наприклад, до гідрокарбонатів належить харчова сода  $\text{NaHCO}_3$ . Молярна маса гідрокарбонат-іона складає 61 мг (водень – 1 мг, вуглець – 12 мг, три атоми кисню по 16 мг), він одновалентний, тому еквівалентна маса його також – 61 мг.

Гідрокарбонати, на відміну від карбонатів, у воді розчинні. Гідрокарбонат кальцію  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  – малорозчинна сіль, і насичення розчину в природних водах може настати при концентрації 1,5–2,0 мекв/дм<sup>3</sup>.

Наявність у воді гідрокарбонатів кальцію та магнію зумовлює її тимчасову твердість.

Гідрокарбонати, як і карбонати у зрошувальній воді виявляють лужність і можуть негативно впливати на підлуговування ґрунту.

**Хлориди** – солі хлоридної (соляної) кислоти ( $\text{HCl}$ ). До складу будь-якого хлориду входить катіон та один або кілька одновалентних аніонів хлору  $\text{Cl}^{1-}$ . Хлориди зазвичай є добре розчинними у воді (але є і винятки – хлорид срібла  $\text{AgCl}$  і утворюються при реакціях соляної кислоти з металами, або в результаті обміну з іншими солями). Молярна і еквівалентна маса хлорид-іона – 35,5 мг.

Найбільш вживаним є хлорид натрію ( $\text{NaCl}$ ), відомий під назвою «кухонна сіль». Хлориди можна одержати різними способами: взаємодією хлоридної кислоти з металами, основними оксидами і гідроксидами, солями слабких кислот та безпосереднім сполученням металів з хлором.

Більшість хлоридів добре розчиняється у воді. Погано розчинним є хлорид свинцю (II)  $\text{PbCl}_2$  і практично нерозчинним – хлорид срібла  $\text{AgCl}$ .

Хлориди широко застосовують. Найважливішими з них є хлорид натрію  $\text{NaCl}$ , хлорид калію  $\text{KCl}$ , хлорид цинку  $\text{ZnCl}_2$  і хлорид барію  $\text{BaCl}_2$ .

Хлорид цинку  $\text{ZnCl}_2$  у вигляді водного розчину застосовують для просочування залізничних шпал, щоб запобігти їх гниттю, і як реактив – у хімічних лабораторіях. Хлорид барію  $\text{BaCl}_2$  – отруйна речовина, яку використовують для боротьби з деякими шкідниками в сільському господарстві, а також як реагент на виявлення іонів  $\text{SO}_4^{2-}$ .

Хлорид-іон – один із найтоксичніших іонів (у всіх сполуках), тому його приймають за еквівалент до, якого приводять всі інші сполуки.

**Сульфати** – солі сульфатної (сірчаної) кислоти  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Молярна маса сульфат-іона ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) – 96 мг (сірка – 32 мг і чотири атоми кисню по 16 мг). Оскільки сульфат-іон двовалентний, то його еквівалентна маса – 48 мг.

Сульфати здебільшого добре розчинні. До малорозчинних належать сульфат кальцію  $\text{CaSO}_4$  і сульфат свинцю  $\text{PbSO}_4$ . Нерозчинним у воді є сульфат барію  $\text{BaSO}_4$ . Сульфати міді та заліза іноді називають купоросами.

У більшості випадків сульфати є нетоксичними для рослин, за винятком сульфату натрію ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ). Як меліорант для витіснення натрію із ґрунтового поглинаючого комплексу застосовують гіпс ( $\text{CaSO}_4$ ).

**Кальцій**, або вапнець, вапень, вапник чи вап ( $\text{Ca}$ ) – хімічний елемент з атомним номером 20 та його проста речовина, що належить до лужноземельних металів, сріблясто-білий м'який метал, хімічно активний, легко окислюється. Густина  $1,55 \text{ г/см}^3$ , температура плавлення  $842 \text{ }^\circ\text{C}$ , температура кипіння  $1491 \text{ }^\circ\text{C}$ . Твердість кальцію за Брінеллем 200–300 МПа.

Природний кальцій складається зі стабільних ізотопів з масовими числами 40 (найбільший вміст), 42, 43, 44, 46, 48. Науковці одержали нестабільні ізотопи кальцію з масовими числами 57, 58, 59 та 60 (останні два – у 2018 році).

Кальцій належить до головної підгрупи другої групи періодичної системи Менделєєва. Його атоми на зовнішньому енергетичному рівні мають по два електрони. Ці електрони він легко втрачає і перетворюється в додатній іон  $\text{Ca}^{2+}$ . У всіх своїх сполуках кальцій буває лише двовалентний. Кальцій належить до найактивніших металів і за своєю хімічною активністю поступається лише лужним металам. Має єдиний ступінь окиснення +2. Молярна маса катіона  $\text{Ca}^{2+}$  – 40 мг, еквівалентна – 20 мг.

Назва елемента «*кальцій*» походить від лат. *calx, calcis* — вапно («м'який камінь»). Вона була запропонована в 1808 році англійським хіміком Гемфрі Деві, який виділив металевий кальцій електролізом. Деві змішував вологе гашене вапно з оксидом ртуті  $\text{HgO}$  на платиновій пластині, яка була анодом. Катодом слугував платиновий дріт, занурений в рідку ртуть. У результаті електролізу одержували амальгаму кальцію.

За поширеністю в природі кальцій посідає п'яте місце серед хімічних елементів (3,6 % маси земної кори). У зв'язку з високою хімічною активністю у вільному стані він не зустрічається. Найпоширенішими його сполуками є вапняк, крейда та мрамур, які мають однаковий хімічний склад  $\text{CaCO}_3$ , але різну кристалічну будову.

Кальцій входить до складу багатьох мінералів (силікатів, алюмосилікатів, боросилікатів, карбонатів, сульфатів, фосфатів, ванадатів, вольфраматів, молібдатів, титанатів, ніобатів, флуоридів, хлоридів та інших). Ці мінерали часто утворюють цілі гірські масиви. У великих кількостях зустрічаються також апатити і фосфорити, основою яких є фосфат кальцію  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ . Досить поширеним є мінерал гіпс  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Крім того, значні кількості сполук кальцію містяться в ґрунті і природних водах, а також входять до складу тваринних і рослинних організмів.

У зрошувальній воді кальцій є найбільш нейтральним катіоном і не має токсичного впливу на рослини. Його часто застосовують для витіснення токсичних іонів натрію і магнію із ґрунтового поглинаючого комплексу.

**Магній** – хімічний елемент. Символ  $\text{Mg}$ . Атомний номер – 12; атомна маса – 24,312. Відкритий англійським хіміком Гемфрі Деві в 1808 році.

Магній – легкий сріблясто-білий метал. Хімічно активний. На повітрі окислюється й тьмяніє. При нагріванні горить яскравим полум'ям. Температура плавлення  $650 \text{ }^\circ\text{C}$ . Ступінь окиснення +2. Утворює металоорганічні сполуки.



Магній – характерний елемент мантії Землі, роль якого зменшується при переході у верхні горизонти літосфери.

Магній у вільному стані в природі не зустрічається. Входить до складу силікатів, хлоридів, карбонатів, сульфатів. Різке падіння вмісту магнію при переході від ультраосновних порід до кислих свідчить про більшу активність магнію на ранніх стадіях кристалізації. Магній входить до складу олівінів, піроксенів, утворює ізоморфні ряди, замінюючи залізо, кальцій, манган.

У процесі геохімічного кругообігу магній надходить в океан. Концентратори магнію – деякі водорості (до 3 % Mg), фораменіфери (до 3,5 %), вапнякові губки (до 4 %). Основні магнієві мінерали: олівін, ромбічний піроксен, шпінель, тальк, флогопіт, карналіт, бішофіт, магнезит, брусит, епсоміт, кізерит, доломіт, каїніт. Металевий магній одержують електролітичним або термічним способом. Сировиною слугує  $MgCl_2$  або зневоднений карналіт.

У зрошувальній воді магній токсичний в сполуках зі сульфатами і хлоридами. За надмірної кількості у зрошувальній воді він може викликати магнієву солонцюватість.

**Натрій** (Natrium, Na) – хімічний елемент з атомним номером 11, та відповідна проста речовина – лужний сріблясто-білий м'який метал, хімічно дуже активний, на повітрі швидко окислюється.

Натрій належить до головної підгрупи першої групи періодичної системи Менделєєва. Його атоми мають на зовнішньому електронному шарі по одному електрону, який вони легко втрачають і перетворюються в іони з одним додатнім зарядом. Тому у своїх сполуках натрій буває лише додатнім одновалентним. Молярна і еквівалентна маса – 23 мг.

Густина 0,968, температура плавлення 97,83 °C, коефіцієнт твердості за Моосом 0,5. Натрій – дуже поширений літофільний елемент (шосте місце серед хімічних елементів). Відомо понад 220 мінералів натрію різних класів (польові шпати, плагіоклази, галіт, селітра, тенардит, мірабіліт). Застосовують натрій як відновник, теплоносій тощо. Солі натрію використовуються у різних галузях економіки.

Натрій вперше був одержаний англійським хіміком Гемфрі Деві в 1807 році електролізом твердого NaOH.

У зв'язку з високою хімічною активністю він зустрічається тільки у вигляді різних сполук. Деякі з них (хлорид натрію, сульфат натрію), утворюють потужні родовища. Запаси солі в Україні на початку ХХІ ст. становили 16,7 млрд т. Родовища кам'яної солі зосереджені на Донбасі, у Дніпровсько-Донецькій западині, на Передкарпатті, Закарпатті та в озерах і лиманах Чорного і Азовського морів. Державним балансом запасів ураховано 14 родовищ кухонної солі, у тому числі: 8 – кам'яної, 2 – солі-ропи, 3 – соляних розсолів, 1 – кам'яної зі шламу.

Натрій є важливим компонентом життєдіяльності організмів. Натрієвий іонний електричний струм є найшвидшим у клітині, і велику частину потенціалу дії нервових клітин складає саме натрієвий компонент.

У вільному стані натрій – сріблясто-білий легкий і м'який метал.

Натрій – дуже активний метал. Легко втрачаючи свої валентні електрони, він є сильним відновником. В електрохімічному ряді напруг він займає друге місце зліва від водню.

Натрій у зрошувальній воді є самим токсичним катіоном, який викликає осолонцювання ґрунту. Всі аніони в сполуках натрію є токсичними солями. Найбільш токсичною сіллю є карбонат натрію ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) – в 5 разів токсичніша за хлор.

**Калій (К)** – хімічний елемент, належить до групи лужних металів, символ К, атомний номер 19; атомна маса 39,098. Молярна і еквівалентна маса – 39 мг.

М'який сріблясто-білий метал. Хімічно дуже активний, сильний відновник, на повітрі легко окислюється. Відкритий англійським хіміком Гемфрі Деві 1807 року. Густина 0,856. Температура плавлення 63,55 °С. Твердість за Брінеллем 400 кПа. Металічний калій легко ріжеться ножом.

Калій – один з найпоширеніших петрогенних елементів земної кори – 2,5 % (за масою). Найважливіші мінерали: сільвін, карналіт, каїніт, лангбейніт. Вміст калію в ультраосновних гірських породах 0,03 %, в основних – 0,83 %, середніх – 2,3 %, у кислих – 3,34 %. Максимальні концентрації калію (до 7 %) виявлені в лужних породах агатового ряду. Головні калійні мінерали у цих породах: лужні польові шпати, слюда, нефелін, лейцит.

При випаровуванні морської води в осад випадають такі мінерали калію: сільвініт, карналіт, каїніт, полігаліт. Унаслідок інтенсивного випаровування морської води в минулі геологічні епохи, особливо в пермський період, були утворені великі родовища калійних солей.

Калій належить до головної підгрупи першої групи періодичної системи Менделєєва, його атоми мають на зовнішньому електронному шарі по одному електрону, який вони легко втрачають і перетворюються в іони з одним додатнім зарядом, тому у своїх сполуках калій буває лише додатньо одновалентним. Калій – дуже активний метал. Легко втрачаючи свої валентні електрони, він є дуже сильним відновником. В електрохімічному ряді напруг він займає перше місце зліва від водню.

Калій входить до складу макродобрих. Діючою речовиною калійних добрив є оксид калію –  $\text{K}_2\text{O}$ . Із 40,7 млн т калію (у перерахунку на  $\text{K}_2\text{O}$ ), видобутому у світі за 2015 рік, 34,9 млн т, тобто 85 %, використали для виробництва калійних добрив. Основними сполуками, що використовуються як добрива, є хлорид калію, сульфат калію і калімагнезія.

Сполуки калію, такі як гідроксид калію або перманганат калію, використовуються як абсорбенти. Калій утворює солі з усіма кислотами. Солі калію за своїми властивостями дуже близькі до солей натрію.

Іони калію і натрію у зрошувальній воді не розділяють, тому їх ураховують разом. Частіше за все іони  $\text{Na}^{1+}$  і  $\text{K}^{1+}$  визначають як різницю суми всіх аніонів у мекв/дм<sup>3</sup> і знайдених катіонів  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{Mg}^{2+}$ . Оскільки іонів натрію в декілька разів більше за іонів калію, то часто, оцінюючи якість води, згадують тільки  $\text{Na}^{1+}$ , хоча при аналізі були виявлені також іони  $\text{K}^{1+}$ .

## 1.2. Показники якості зрошувальної води за агрономічними критеріями

Агрономічні критерії оцінювання якості зрошувальної води включають такі показники:

- вміст основних іонів у різних формах (мг/дм<sup>3</sup>, мекв/дм<sup>3</sup>, %-еквівалент);
- концентрація токсичних солей, мекв/дм<sup>3</sup> (ДСТУ 7908);
- відношення суми лужних катіонів натрію і калію (мекв/дм<sup>3</sup>) до суми всіх катіонів (мекв/дм<sup>3</sup>), % (ДСТУ 7944 та ДСТУ 7945);
- перевищення концентрації катіона магнію над концентрацією катіона кальцію (мекв/дм<sup>3</sup>);
- вміст аніонів хлору (Cl<sup>1-</sup>), мекв/дм<sup>3</sup>;
- вміст загальної лужності (HCO<sub>3</sub><sup>1-</sup>), мекв/дм<sup>3</sup>;
- вміст лужності від нормальних карбонатів (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>), мекв/дм<sup>3</sup> (ДСТУ 7943);
- токсична лужність (HCO<sub>3</sub><sup>1-</sup> – Ca<sup>2+</sup>), мекв/дм<sup>3</sup> (ДСТУ 7845);
- величина рН – водневий показник (ДСТУ ISO 10390);
- термодинамічні потенціали (ДСТУ 7540, ДСТУ 7608, ДСТУ 7834) (Ромась М.І., Пелешенко В.І., Сілевич С.О. 2002);
- температура води.

Розглянемо детальніше основні показники якості зрошувальної води.

**Вміст основних іонів у формі міліграм-еквівалентів (мекв/дм<sup>3</sup>)** застосовують для їх кращого зіставлення, оскільки різні іони мають різну молекулярну масу. Для переходу від мг/дм<sup>3</sup> у мекв/дм<sup>3</sup> необхідно вміст того чи іншого іона в мг/дм<sup>3</sup> розділити на його еквівалентну масу, що залежить від маси атомів хімічних елементів, з яких складаються ці іони, та від їх електронного заряду.

Краще за все це питання розглянути на прикладі.

### Завдання 1.1: Оцінити якість зрошувальної води за агрономічними критеріями

Дано: 1. Результати хімічного аналізу проби води відібраної 25 травня 2018 р. із каналу Дніпро–Донбас у регульовальному басейні Царичанської зрошувальної системи (табл. 1.1).

**Таблиця 1.1 – Результати хімічного аналізу зрошувальної води**

рН	Аніони, мг/дм <sup>3</sup>				Катіони, мг/дм <sup>3</sup>			Загальна мінералізація, г/дм <sup>3</sup>
	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>1-</sup>	Cl <sup>1-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>1+</sup> + K <sup>1+</sup>	
7,5	-	183	53	180	55	27	75	0,573

2. Ґрунти зрошувальної ділянки – чорноземи звичайні важкосуглинкові. Необхідно оцінити зрошувальну воду за агрономічними критеріями.

Розв'язок: Перерахунок іонів із розмірності мг/дм<sup>3</sup> у мекв/дм<sup>3</sup> наведено в табл. 1.2.

**Таблиця 1.2 – Перерахунок іонів у різні форми**

Показник	Аніони				Катіони			Сума		
	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>1-</sup>	Cl <sup>1-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>1+</sup> + K <sup>1+</sup>	аніонів	катіонів	іонів
мг/дм <sup>3</sup>	-	183	53	180	55	27	75			573
Еквівалентна маса	30	61	35,5	48	20	12	23			
мекв/дм <sup>3</sup>	-	3,00	1,49	3,75	2,75	2,25	3,24	8,24	8,24	
%-екв	-	36	18	46	33	27	40	100	100	

*Перевірка правильності результатів хімічного аналізу води полягає в порівнянні величини суми аніонів у мекв/дм<sup>3</sup> з сумою катіонів: суми катіонів та аніонів мають бути однакові. Якщо суми не рівні, але відрізняються в незначній кількості, то необхідно недостатню, або надлишкову їх частину збільшити, або зменшити за рахунок суми катіонів натрію і калію, тому що їх вміст частіше за все визначають за різницею суми аніонів і відомих катіонів, а не прямим визначенням.*

**Вміст основних іонів у %-еквівалентах** застосовують для встановлення хімічного типу води. Для цього суми аніонів і катіонів приймають за 100 %, вміст кожного іона шляхом пропорцій виражають у відсотках від зазначених сум (табл. 1.2).

**Хімічний тип води** визначають за переважаючими іонами. У назву хімічного типу води включають тільки ті іони (аніони та катіони), вміст яких перевищує 20 %-еквівалентів. Той іон, вміст якого найбільший в назві ставлять на останнє місце, тобто акцентують на ньому увагу, а іон, вміст якого найменший із зазначених більше 20 %, ставлять на перше місце.

У содових водах іон  $\text{HCO}_3^{1-}$  кількісно повинен переважати хоча б над одним із нейтральних аніонів, і при цьому вміст  $\text{HCO}_3^{1-}$  має бути вище вмісту катіона кальцію, а рН вище 8,5. Участь соди в хімічному типі відмічають у тому випадку, коли в складі води переважають нейтральні солі, а вміст  $\text{HCO}_3^{1-}$  складає менше 20 %-еквівалентів, але при цьому перевищує вміст катіона кальцію. У випадку, коли гідрокарбонат-іон ( $\text{HCO}_3^{1-}$ ) містить більше 20%-еквівалентів, але менше, ніж катіонів кальцію, хімізм води оцінюють як гідрокарбонатний, але не содовий.

*Для розглянутого вище завдання 1.1 вода буде **содово-сульфатна магнієво-кальцієво-натрієва**. У назві префікс содово прийнято, оскільки гідрокарбонат-іон перевищує вміст іонів кальцію. Вміст усіх катіонів більше ніж 20 %, тому вони всі входять у назву в порядку від меншого вмісту до більшого.*

**Відношення суми лужних катіонів натрію до суми всіх катіонів (мекв), у %** – визначають для встановлення небезпеки осолонцювання. Цей показник відповідає значенню натрію у %-еквівалентах.

*Для розглянутого завдання 1.1 відношення концентрації лужних металів складає 40 % (табл. 1.3).*

**Відношення концентрації катіону магнію до концентрації катіону кальцію (мекв)** визначають для встановлення участі іонів магнію в процесі осолонцювання. Це осолонцювання є суттєвим тоді, коли відношення більше 1.

*Для розглянутого завдання  $\text{Mg}^{2+}/\text{Ca}^{2+}=2,25/2,75=0,82$ . В даному випадку це значення несуттєве.*

**Вміст аніонів хлору ( $\text{Cl}^{1-}$ )** одного із найбільш токсичних для сільськогосподарських культур.

*В даному завданні – 1,49 мекв/дм<sup>3</sup> (див. табл. 1.2).*

**Вміст лужності від нормальних карбонатів** оцінюють наявністю карбонат-іонів  $\text{CO}_3^{2-}$ .

*У розглянутому завданні карбонатів не виявлено, тому цей показник дорівнює 0.*

**Вміст загальної лужності** оцінюють за наявністю гідрокарбонат-іонів ( $\text{HCO}_3^{1-}$ ).

Для розглянутого завдання вміст загальної лужності – 3,00 мекв/дм<sup>3</sup>.

**Вміст токсичної лужності** ( $\text{HCO}_3^{1-}-\text{Ca}^{2+}$ ) визначають тією часткою аніона  $\text{HCO}_3^{1-}$ , яка не зв'язана з кальцієм. За нормальних умов (температура від 17 °С до 20 °С, нормальний парціальний тиск  $\text{CO}_2$  – 3040 Па) з кальцієм може зв'язуватися від 1,5 до 2,0 мекв/дм<sup>3</sup>  $\text{HCO}_3^{1-}$ , в середньому – 1,75 мекв/дм<sup>3</sup>. Якщо вміст кальцію у воді менше ніж 1,5 мекв/дм<sup>3</sup>, то з  $\text{HCO}_3^{1-}$  зв'язується фактично увесь наявний його вміст.

Для розглянутого завдання  $\text{HCO}_3^{1-}-\text{Ca}^{+2}=3,0-1,75=1,25$  мекв/дм<sup>3</sup> (табл. 1.2), тобто гідрокарбонат-іон незв'язаний з кальцієм.

**Вміст токсичних солей у зрошувальній воді в еквівалентах хлору** визначають для зіставлення загального впливу токсичних аніонів. Для визначення вмісту токсичних іонів усі основні іони в мекв/дм<sup>3</sup> необхідно зв'язати в гіпотетичні молекули токсичних і нейтральних солей за схемою (табл. 1.3).

**Таблиця 1.3 – Схема зв'язування іонів у гіпотетичні молекули токсичних і нейтральних солей**

Іони	$\text{CO}_3^{2-}$	$\text{HCO}_3^{1-}$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Cl}^{-1}$	Сума
$\text{Ca}^{+2}$	-	2 1,75	5 1,00	8 -	2,75
$\text{Mg}^{+2}$	-	3 1,25	6 1,00	9 -	2,25
$\text{Na}^{+}+\text{K}^{+1}$	1 -	4 -	7 1,75	10 1,49	3,24
<b>Сума</b>	-	3,00	3,75	1,49	8,24

**Примітка.** Сполуки солей, які розташовані нижче розділової лінії, є токсичними, а вище – нейтральними.

Всю кількість аніонів  $\text{CO}_3^{2-}$  зв'язують з катіонами  $\text{Na}^{1+}$  і  $\text{K}^{1+}$  у токсичні солі  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  і  $\text{K}_2\text{CO}_3$ . Вони є найбільш токсичними. Солі  $\text{CaCO}_3$  і  $\text{MgCO}_3$  нерозчинні у воді, тому враховувати в природній воді їх непотрібно. Із загальної кількості аніона  $\text{HCO}_3^{1-}$  вилучають нетоксичну його частку, зв'язану з катіоном кальцію. При цьому з катіоном кальцію можна зв'язати не більше 1,5–2,0 мекв/дм<sup>3</sup>  $\text{HCO}_3^{1-}$  (у середньому 1,75), що дорівнює межі розчинності солі  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  у зрошувальних водах. Залишкову частину аніона  $\text{HCO}_3^{1-}$  спочатку зв'язують з катіонами магнію, а потім, якщо є надлишок, з катіоном натрію.

Аніони  $\text{SO}_4^{2-}$  зв'язують у нейтральну сіль  $\text{CaSO}_4$  із залишком катіона кальцію, а решту аніонів  $\text{SO}_4^{2-}$  – у токсичні солі з катіонами магнію, натрію і калію, які залишилися після зв'язування з аніонами  $\text{CO}_3^{2-}$  і  $\text{HCO}_3^{1-}$ . Залишок катіонів зв'язують у токсичні солі з хлором у послідовності, яка вказана в табл. 1.3.

Кількість токсичних іонів в еквівалентах хлору розраховують за формулою

$$eCl^{-1(\text{токс.})} = Cl^{-1} + 0,2SO_4^{-2(\text{токс.})} + 0,4HCO_3^{-1(\text{токс.})} + 5CO_3^{-2(\text{токс.})}, \quad (1.1)$$

де  $eCl^{-1(\text{токс.})}$  – сума токсичних солей в еквівалентах хлору, мекв/дм<sup>3</sup>;

$Cl^{-1}$  – сума хлоридів, мекв/дм<sup>3</sup>;

$SO_4^{-2(\text{токс.})}$  – сума токсичних сульфатів, мекв/дм<sup>3</sup>;

$HCO_3^{-1(\text{токс.})}$  – сума токсичних гідрокарбонатів, мекв/дм<sup>3</sup>;

$CO_3^{-2(\text{токс.})}$  – сума токсичних карбонатів, мекв/дм<sup>3</sup>.

Для розглянутого прикладу

$$eCl^{-1(\text{токс.})} = 1,49 + 0,2 \cdot 2,75 + 0,4 \cdot 0 + 5 \cdot 0 = 2,04 \text{ мекв/дм}^3.$$

**Величина рН** – водневий показник характеризує середовище (лужне, нейтральне чи кисле) і визначається на підставі хімічного аналізу.

Для розглянутого завдання на підставі хімічного аналізу  $pH = 7,5$ .

Якість зрошувальної води оцінюють, враховуючи небезпеку іригаційного засолення, підлугування, осолонцювання ґрунтів та токсичний вплив зрошувальної води на рослини.

### 1.3. Оцінка якості зрошувальної води за небезпекою вторинного засолення ґрунту

Під дією зрошувальних меліорацій відбуваються зміни водно-фізичних, фізико-хімічних, агрономічних властивостей ґрунту, що за певних обставин призводить до зниження його родючості. Характер та інтенсивність ґрунтових процесів водночас залежать від багатьох чинників, серед яких важливе значення має якість води, що використовується для зрошення.

Вторинне засолення ґрунту може виникнути через накопичення легкорозчинних солей в ґрунтовому профілі, що містить зрошувальна вода.

У першому наближенні якість зрошувальної води за небезпекою вторинного засолення за загальним вмістом солей ( $M$ ) можна прийняти за даними, запропонованими О.М. Костяковим:  $M=0,2-1,0$  г/дм<sup>3</sup> – вода придатна для зрошення без обмежень;  $M=1,0-3,0$  г/дм<sup>3</sup> – вода небезпечна з точки зору вторинного засолення ґрунтів і потребує покращення;  $M=3-5$  г/м<sup>3</sup> – вода непридатна, виняток може становити використання її на піщаних ґрунтах, за умови достатнього природного дренивання та промивного режиму.

Для розглянутого в розділі 1.2. завдання  $M = 0,573$  г/дм<sup>3</sup>, тому воду можна охарактеризувати як придатну для зрошення без обмежень.

Оцінка якості зрошувальної води за небезпекою вторинного засолення ґрунту при тривалому зрошенні може бути такою:  $M \leq 0,45$  г/л – вода доброї

якості (небезпека вторинного засолення відсутня);  $M=0,45-1,92$  г/л – вода середньої якості (є небезпека вторинного засолення);  $M>1,92$  г/л – вода поганої якості (висока небезпека вторинного засолення при тривалому зрошенні).

Для розглянутого в розділі 1.2. завдання за другою класифікацією воду необхідно віднести до середньої якості, тобто є небезпека вторинного засолення при тривалому зрошенні.

Попередню оцінку іригаційної якості природної води можна зробити за формулою *Ізраельсона*, яка враховує баланс солей на зрошуваній ділянці (Новикова А. В., Гаврилович Н. Е. 2007).

$$\sum M = \frac{\gamma \cdot S_d}{S_e \cdot h}, \quad (1.2)$$

де  $\sum M$  – загальний шар води за всі роки зрошення;

$\gamma$  – щільність ґрунту, г/см<sup>3</sup>;

$S_d$  – граничний (допустимий) для рослин відсоток вмісту солей у ґрунті (приймають 0,1–0,3 від маси ґрунту);

$S_e$  – відсотковий вміст цих солей у зрошувальній воді;

$h$  – товщина шару ґрунту (у метрах), зволоженого зрошувальною водою (кореневмісний шар ґрунту приймають 0,4–1,2 м);

$\sum M$ , поділене на щорічну зрошувальну норму (0,3–0,4 м), дає кількість років за які ґрунт засолиться.

В розглянутому завданні мінералізація води складає 0,573 г/дм<sup>3</sup>, або 0,0573 % за масою води. Тоді при  $S_d$ , рівному 0,2, щільності ґрунту ( $\gamma$ ) – 1,3 г/см<sup>3</sup>, потужності кореневмісного шару ( $h$ ) 1 м;  $\sum M = \frac{1,3 \cdot 0,2}{0,0573 \cdot 1} = 4,54$ . При щорічній зрошувальній нормі 2000 м<sup>3</sup>/га або

0,2 м шару води одержимо  $T = \frac{4,54}{0,2} = 22,7$  років.

Треба мати на увазі, що ця формула не враховує тип ґрунту і якість солявого складу води. До розрахунку входить тільки сума солей, що обчислена за результатами аналізу, або сухий залишок.

Небезпеку вторинного засолення, згідно з ДСТУ 2730 оцінюють на підставі показника загальної концентрації токсичних іонів (в еквівалентах хлору) з урахуванням гранулометричного складу ґрунтів (табл. 1.4).

**Таблиця 1.4 – Оцінка якості зрошувальної води за небезпекою вторинного засолення ґрунту (ДСТУ 2730)**

Концентрація токсичних іонів за групами ґрунтів, мекв/л			Клас якості води
піщаний та супіщаний	легкосуглинковий і середньосуглинковий	важкосуглинковий та глинистий	
Менше 15 15–40	Менше 10 10–30	Менше 5 5–25	I II

За гранулометричним складом ґрунти класифікують залежно від вмісту в них фізичної глини (частинки менше 0,01 мм) методом, запропонованим Н.А. Качинським (1970), (табл. 1.5).

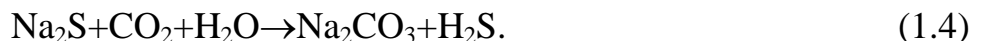
**Таблиця 1.5 – Класифікація ґрунту за гранулометричним складом**  
(за Н.А. Качинським)

Вміст фізичної глини (частинки менше 0,01 мм), %		Ґрунт за гранулометричним складом
підзолистого типу ґрунтоутворення (ненасичені основами)	степового типу ґрунтоутворення	
0–5	0–5	Пісок сипучий зв'язний
5–10	5–10	
10–20	10–20	Супісок
20–30	20–30	Суглинок легкий середній важкий
30–40	30–45	
40–50	45–60	
50–70	60–70	Глина легка середня важка
70–80	70–80	
80–100	80–100	

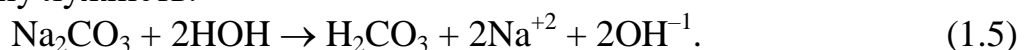
Оскільки для розглянутого завдання концентрація токсичних іонів в еквівалентах хлору складає 2,04 мекв/дм<sup>3</sup>, то вода є «Придатною без обмежень» для будь-яких ґрунтів, у тому числі і для важкосуглинкових. Отже, вторинне засолення при поливі такою водою не повинно відбуватись.

## 1.4. Підлучення ґрунту при зрошенні

Підлучення ґрунтів – це підвищення лужності ґрунтового розчину під впливом засолення, осолонцювання, підґрунтових і зрошувальних вод, сульфат-редукції або з інших причин (ДСТУ 2730:2015). При зрошенні підлучення як правило зумовлене впливом прісних лужних поливних вод гідрокарбонатно-натрієвого складу за низької буферності зрошуваних ґрунтів проти підлугування, ґрунтових вод содового хімізму, що залягають на глибині менше трьох метрів від поверхні, або процесами сульфат редукції в анаеробних умовах. В останньому випадку сірчаноокислі солі натрію за наявності органічних речовин і за відсутності кисню через діяльність бактерій-сульфат редукторів відновлюються з утворенням соди (Балюк С.А., Носенко О.А. 2008).



При дисоціації сода утворює надлишкові кількості аніонів  $\text{OH}^-$ , що й зумовлює підвищену лужність:



В Україні розроблено класифікацію ґрунтів за ступенем лужності у шарі 0–30 см (БН 33-5.5-01-97), табл. 1.6.

Питання просторового поширення содопроявлення та підлучення ґрунтів в Україні докладно висвітлено в науковій роботі (Новикова А.В., Гаврилович Н.Е. 2007).



**Таблиця 1.6 – Класифікація ґрунтів за ступенем лужності (шар 0–30 см)  
(ВБН 33-5.5-01-97 (2002))**

Ступінь лужності	Показник			
	pH	НСО <sub>3</sub> – Са, мекв/100 г ґрунту	СО <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , мекв/100 г ґрунту	pH–pNa
Слабкий	7,5–8,5	0,5–1,0	До 0,3	4,0–5,0
Середній	8,5–9,0	1,0–2,0	0,3–0,9	5,0–5,5
Сильний	Більше 9,0	Більше 2,0	Більше 0,9	Більше 5,5

Негативний вплив підвищеної лужності виявляється в пригніченні рослин і мікроорганізмів, підсиленні пептизації ґрунтових колоїдів, що спричиняє прискорення процесу осолонцювання й різке погіршення фізичних властивостей ґрунту. Урожайність культур знижується на 10–20 % при низькому рівні підлугування та на 30–50 % – при високому рівні (Ромащенко М.І, Балюк С.А. 2000).

Якість зрошувальної води за небезпекою підлугування ґрунту оцінюють на підставі оцінювання водневого показника (pH), токсичної лужності та лужності від нормальних карбонатів (табл. 1.7). Клас якості води визначають за двома гіршими з трьох кількісних показників.

**Таблиця 1.7 – Оцінювання якості зрошувальної води за небезпекою підлуження ґрунту**

Показник якості води	Група ґрунту за лужно-кислотним показником			Клас якості води
	кислий	нейтральний	лужний	
pH СО <sub>3</sub> <sup>-2</sup> , мекв/дм <sup>3</sup> НСО <sub>3</sub> <sup>-1</sup> –Са <sup>+2</sup> , мекв/дм <sup>3</sup>	Менше 8,2 Менше 0,3 Менше 2,5	Менше 8,0 - Менше 2,0	Менше 7,5 - Менше 1,5	I
pH СО <sub>3</sub> <sup>-2</sup> , мекв/дм <sup>3</sup> НСО <sub>3</sub> <sup>-1</sup> –Са <sup>+2</sup> , мекв/дм <sup>3</sup>	8,2–9,0 0,3–0,9 2,5–8,0	8,0–8,8 0,1–0,6 2,0–7,0	7,5–8,5 0,1–0,3 1,5–6,0	II
pH СО <sub>3</sub> <sup>-2</sup> , мекв/дм <sup>3</sup> НСО <sub>3</sub> <sup>-1</sup> –Са <sup>+2</sup> , мекв/дм <sup>3</sup>	Понад 9,0 Понад 0,9 Понад 8,0	Понад 8,8 Понад 0,6 Понад 7,0	Понад 8,5 Понад 0,3 Понад 6,0	III

Градацію ґрунтів за реакцією середовища приймають згідно з табл. 1.8.

**Таблиця 1.8 – Градація ґрунтів за реакцією середовища**

Група ґрунту	pH водневий	СО <sub>3</sub> <sup>-2</sup> , мекв/100 г	НСО <sub>3</sub> <sup>-1</sup> –Са <sup>+2</sup> , мекв/100 г
Кислий	Менше ніж 6,5	-	Менше ніж 0,5
Нейтральний	Від 6,5 до 7,5	-	Від 0,5 до 0,8
Лужний	Понад 7,5	Понад 0,1	Понад 0,8

Оскільки для розглянутого в розділі 1.2. прикладу pH=7,5, СО<sub>3</sub><sup>-2</sup>=0, НСО<sub>3</sub><sup>-1</sup>–Са<sup>+2</sup>=1,25 мекв/дм<sup>3</sup>, що менше за критичні значення навіть для лужних ґрунтів, то зрошувальну воду можна віднести до I класу «Вода придатна без обмежень».

## 1.5. Токсичний вплив зрошувальної води на рослини

Токсичними називають легкорозчинні солі, що в певних концентраціях токсично впливають на рослини, пригнічуючи їхній ріст і розвиток (ДСТУ 2730:2015). За надмірної наявності легкорозчинних солей у зрошувальній воді, може пошкоджуватися надземна частина рослин і зменшуватися їх урожайність. Оцінюють якість води за небезпекою токсичного впливу за водневим показником рН, за вмістом лужності від нормальних карбонатів ( $\text{CO}_3^{-2}$ ) і за вмістом аніона хлору ( $\text{Cl}^{-1}$ ) (табл. 1.9).

*Таблиця 1.9 – Оцінка якості зрошувальної води за небезпекою її токсичного впливу на рослини при поливах дощуванням*

Показник якості води, мекв/дм <sup>3</sup>			Токсичні іони, еквівалентів Cl	Клас якості води
рН	$\text{CO}_3^{-2}$	$\text{Cl}^{-1}$		
6,5–7,5	-	Менше ніж 3,0	Менше ніж 15	I
5,5–6,5 7,5–8,8	0,1–0,6	3,0–15,0	15–40	II
Менше ніж 5,5 Понад 8,8	Понад 0,6	Понад 15	Понад 40	III

Для розглянутого завдання 1.1  $\text{pH} = 7,5$ ,  $\text{CO}_3^{-1} = 0$  мекв/дм<sup>3</sup>,  $\text{Cl} = 1,49$  мекв/дм<sup>3</sup>, токсичні іони в еквівалентах хлору складають 2,04 мекв/дм<sup>3</sup>, тому зрошувальну воду необхідно віднести до I класу «Вода придатна без обмежень».

Зрошувати водою II класу особливо небезпечно в спекотну денну пору. У цей період зрошувальна вода, що потрапила на листя і стебла рослин затримується на них у вигляді крапель. Інтенсивно випаровуючись, вода з крапель різко підвищує концентрацію солей до небезпечних величин, тому такою водою краще за все поливати вночі, рано-вранці або ввечері. Підвищена кислотність зрошувальної води при потраплянні на рослини порушує захисний восковий покрив листя, роблячи їх вразливішими для комах, грибів та інших патогенних мікроорганізмів. Під час посухи через ушкоджені листки випаровується більше вологи. Вилуговування біогенів із ґрунту і вивільнення токсичних елементів спричиняють уповільнення росту та загибель рослин.

## 1.6. Оцінка якості зрошувальної води за небезпекою осолонцювання ґрунтів

Осолонцювання ґрунтів – це процес вбирання колоїдним комплексом ґрунтів іонів натрію та калію (ДСТУ 3866). Осолонцювання ґрунту може виникнути за надмірної кількості іонів натрію у зрошувальній воді, які можуть переходити до ґрунтового поглинаючого комплексу. Негативно на процеси осолонцювання можуть впливати і наявні іони магнію. Для оцінки якості зрошувальної води за небезпекою осолонцювання розроблено велику кількість методів. Більшість із них наведені в даному посібнику.

Оцінку якості зрошувальної води, згідно з ДСТУ 2730:2015, виконують за величиною відношення (у %) суми лужних катіонів натрію і калію до суми всіх

катіонів (мекв/дм<sup>3</sup>) з урахуванням протисолонцювальної буферності та гранулометричного складу ґрунтів, величини відношення магнію в зрошувальній воді до кальцію і складу води за небезпекою засолення чи підлугування ґрунтів (табл. 1.10).

Одержані величини відношення суми лужних катіонів натрію і калію до суми їх катіонів коригують залежно від показника відношення в зрошувальній воді катіонів магнію до катіонів кальцію, оскільки при високому вмісті іонів магнію можливе осолонцювання магнієм. Якщо відношення катіонів магнію до катіонів кальцію більше одиниці, то відношення катіонів натрію і калію до суми всіх катіонів (у %) збільшують на таку саму кількість одиниць, яка відповідає кількості десятих частинок від відношення магнію до кальцію (табл. 1.11).

**Таблиця 1.11 – Градація ґрунтів за протисолонцюючою буферністю**

Буферність ґрунту	Активність кальцію ґрунтового розчину, мекв/дм <sup>3</sup>	Вміст CaCO <sub>3</sub> в ґрунті, %
Низька	Менше 6,0	Менше ніж 2
Середня	6,0-10,0	2–10
Висока	Більше 10,0	Понад 10

Показники активності іонів кальцію в ґрунтах України наведені в табл. 1.12.

**Таблиця 1.12 – Показники активності іонів кальцію в ґрунтах України**  
(узагальнені дані)

Ґрунт	Активність кальцію ґрунтового розчину, мекв/л
<i>Лісостеп центральний</i>	
Темно-сірий лісовий	3,5–5,5
Чорнозем опідзолений	4,0–6,0
Чорнозем типовий малогумусний	4,0–5,0
Чорнозем типовий середньогумусний	6,0–7,5
<i>Лісостеп лівобережний</i>	
Темно-сірий лісовий	3,2–5,0
Чорнозем опідзолений	4,0–6,0
Чорнозем типовий малогумусний	6,0–7,5
Чорнозем типовий середньогумусний	8,0–12,0
Чорнозем типовий середньогумусний карбонатний	9,0–13,0
<i>Степ північний</i>	
Чорнозем звичайний	6,0–9,0
Чорнозем звичайний карбонатний	7,0–13,0
<i>Степ південний</i>	
Чорнозем південний	5,5–12,5
Темно-каштановий залишково-солонцюватий	10,5–12,5
Темно-каштановий середньосолонцюватий	7,0–8,0
Темно-каштановий сильносолонцюватий	5,5–6,5
Каштановий слабосолонцюватий	10,5–12,5
Каштановий середньосолонцюватий	7,0–8,0
Каштановий сильносолонцюватий	5,0–6,0
Солонець степовий	2,3–3,5

Таблиця 1.10 – Оцінка якості зрошувальної води за небезпекою осолонцювання ґрунту [43].

Клас зрошувальної води за небезпекою підлугування	Співвідношення суми лужних катіонів натрію і калію з урахуванням вмісту магнію до суми всіх катіонів, %									Клас якості води
	ґрунти різних типів: піщані і суцільні	темно-каштанові і каштанові суглинкові середньо- і високобуферні	темно-каштанові і каштанові суглинкові низькобуферні	темно-каштанові і каштанові глинисті середньо- і високобуферні	темно-каштанові і каштанові глинисті низькобуферні	чорноземні ґрунти суглинкові середньо- і високобуферні	чорноземні ґрунти суглинкові низькобуферні	чорноземні ґрунти глинисті середньо- і високобуферні	чорноземні ґрунти глинисті низькобуферні	
I клас	Менше 75	Менше 70	Менше 65	Менше 60	Менше 55	Менше 50	Менше 45	Менше 40	Менше 35	I
II клас	Менше 70	Менше 65	Менше 60	Менше 55	Менше 50	Менше 45	Менше 40	Менше 35	Менше 30	
I клас	75–80	70–75	65–70	60–65	55–60	50–55	45–50	40–45	35–40	II
II клас	70–75	65–70	60–65	55–60	50–55	45–50	40–45	35–40	30–35	
I клас	Понад 80	Понад 75	Понад 70	Понад 65	Понад 60	Понад 55	Понад 50	Понад 45	Понад 40	III
II клас	Понад 75	Понад 70	Понад 65	Понад 60	Понад 55	Понад 50	Понад 45	Понад 40	Понад 35	

**Примітки.** 1. У разі вмісту води  $Mg^{+2}$  більше ніж  $Ca^{+2}$  до суми  $(Na^{+1} + K^{+1})$  додають різницю  $(Mg^{+2} - Ca^{+2})$ , мекв/дм<sup>3</sup>.  
 2. Градацію ґрунтів за протисолонцювальною буферністю наведено в табл. 1.11.  
 3. Показники активності кальцію у ґрунтах України наведено в табл. 1.12.  
 4. За III класу якості води за небезпекою підлугування, оцінювання її за небезпекою осолонцювання є недоцільним.

Отже, для розглянутого в розділі 1.2. завдання для чорноземів звичайних, що знаходяться в степовій зоні північній її підзоні, згідно з табл. 1.12, активність кальцію ґрунтового розчину складає 6–9 мекв/дм<sup>3</sup>. При цьому буферність ґрунту можна визначити як середню (табл. 1.11).

При одержаному значенні відношення суми лужних катіонів до суми всіх катіонів 40 % і при I класі за небезпекою підлугування, зрошувальну воду для важкосуглинкових середньо-буферних ґрунтів необхідно віднести до II класу за небезпекою осолонцювання, а для всіх інших – до I класу.

Оцінювати якість зрошувальної води за небезпекою осолонцювання можна і за іншими методами.

**Коефіцієнт K** (за І.П. Айдаровим, О.І. Головановим) визначають за формулою

$$K = \frac{Na^{+1}}{Ca^{+2} + Mg^{+2}} \cdot 100 \%, \quad (1.6)$$

де  $Na^{+1}$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$  – вміст зазначених іонів у зрошувальній воді в мекв/дм<sup>3</sup>.

Для території зі слабодренованими темно-каштановими ґрунтами, схильними до осолонцювання, рекомендується  $K \leq 25$  % при загальній концентрації солей 0,7–0,8 г/дм<sup>3</sup>, рН  $\leq 7,5$ . Для південних чорноземів  $K \leq 15$  % при концентрації солей 0,5–0,6 г/л і рН  $< 7,5$ .

Для розглянутого завдання  $K = \frac{3,24}{2,75 + 2,25} \cdot 100 = 64,8$  %.

Отже, в даному випадку при коефіцієнті K більше 25 % можливі прояви осолонцювання.

**Стеблер** для побудови своєї формули іригаційної характеристики застосував відносну шкідливість солей натрію:

$$Na_2CO_3-10: NaCl-5: Na_2SO_4-1. \quad (1.7)$$

Із іригаційної характеристики води впливає вираз, що визначає стовп води в дюймах, при випаровуванні якої утворюється така кількість лугів (300 кг соди на 1 га), яка здатна пошкодити ґрунти на глибину 1,2 м. Це небезпечно для більшості чутливих до солей посівів сільськогосподарських культур.

Води, що характеризуються першими двома формулами (табл. 1.13), не можна поліпшити хімічною обробкою, а води, що характеризуються формулою (1.7), можна поліпшити додаванням гіпсу.

**Таблиця 1.13 – Лужна характеристика ( $K_a$ ) за Стеблером**

При значенні радикала	Величина лужної характеристики, $K_a$
$Na^{+1} - Cl^{-1} \leq 0$	$K_a = \frac{228}{5 \cdot Cl^{-1}}$
$0 < Na^{+1} - Cl^{-1} < SO_4^{-2}$	$K_a = \frac{228}{Na^{+2} + 4 \cdot Cl^{-1}}$
$Na^{+1} - (Cl^{-1} + SO_4^{-2}) > 0$	$K_a = \frac{228}{10 \cdot Na^{+2} - 5 \cdot Cl^{-1} - 9 \cdot SO_4^{-2}}$

Цілий ряд факторів, що впливають на засолення й розсолення ґрунтів, наведеними формулами не враховуються. Якщо води містять більше 1 г/дм<sup>3</sup> усіх солей, то їх можна використовувати для зрошення за певних умов, наведених в табл. 1.14:

- а) води тверді (20–40°) за рахунок постійної твердості (постійна твердість води в основному обумовлюється вмістом у ній однієї солі або ряду таких солей: CaSO<sub>4</sub>, MgSO<sub>4</sub>, CaCl<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub>, CaCO<sub>3</sub>, MgCO<sub>3</sub>);
- б) ґрунти легкі (піщані, супіщані), водонепроникні, або карбонатні чи гіпсоносні;
- в) площа має добре природне дренавання;
- г) у складі зрошуваних культур переважають культури, які потребують мало води (2–4 поливи);
- д) застосовують органічні добрива з внесенням гіпсу.

**Таблиця 1.14 – Класифікація іригаційних вод за Стеблером**

$K_a$ – лужна характеристика	Клас води	Характеристика
18 і більше	Добра	Воду успішно застосовують багато років. Нагромадження лугів не загрожує
18–6	Задовільна	Необхідно запобігти поступовому нагромадженню луку, за винятком пухких ґрунтів із добрим природним дренаванням
8–1,2	Незадовільна	Текстура ґрунтів має велике значення. Дренаж майже завжди необхідний
Менше 1,2	Погана	Практично непридатна для зрошення

Для розглянутого в завданні 1.1 випадку справджується друга нерівність

$0 < 3,24 - 1,49 = 1,75 < 3,75$ , тому  $K_a = \frac{228}{3,24 + 4 \cdot 1,49} = 24,8$ . Отже, за характеристикою  $K_a$  поливна вода – добра (табл. 1.14).

**Метод І.А. Антипова-Катаєва і Кадер** ґрунтується на залежності між критичним вмістом солей від загальної мінералізації води

$$\frac{Ca^{+2} + Mg^{+2}}{Na^{+1}} \geq 0,23 \cdot C, \quad (1.8)$$

де  $C$  – загальна мінералізація, г/л.

У даному завданні  $\frac{2,75 + 2,25}{3,24} = 1,54 > 0,23 \cdot 0,57 = 0,13$  нерівність справджується, тобто осолонцювання не повинне мати місце.

**Показник SAR** характеризує поглинання ґрунтом  $Na^{+1}$  із води. Його знаходять за формулою Гапона

$$SAR = \frac{Na^{+1}}{\sqrt{\frac{Ca^{+2} + Mg^{+2}}{2}}}, \quad (1.9)$$

при значеннях показника SAR від 0 до 10 – рівень небезпеки осолонцювання ґрунту є низьким, від 10–18 – середнім, від 18–26 – високим, більше 26 – дуже високим.

$$\text{Для розглянутого прикладу } SAR = \frac{3,24}{\sqrt{\frac{2,75 + 2,25}{2}}} = 1,30, \text{ тобто рівень небезпеки осолонцювання є низьким.}$$

лонцювання є низьким.

Оцінюючи якість води з точки зору небезпеки осолонцювання, також ураховують уміст катіонів у воді і мінералогічний склад ґрунту. Співвідношення катіонів у воді впливає на активність іонів натрію і його спроможність упродовжуватись у ґрунтовий поглинаючий комплекс за показником SAR. При поливах між зрошувальною водою і ґрунтом відбувається активна взаємодія, внаслідок якої формується новий склад ґрунтового розчину. Важливо встановити, в якому напрямку буде перебігати цей процес.

Унаслідок взаємодії поливної води і ґрунту може розвиватися процес осідання карбонатів, що спостерігається при різних рівнях підлугування ґрунтового розчину, або навпаки – розчин кальцієвих солей ґрунту у випадку підкислення розчину поливними водами. Осідання кальцію призводить до збільшення в розчині відсоткового вмісту натрію і зростання величини SAR. Ця тенденція пов'язана зі складом зрошувальних вод і враховується при розрахунку «уточненого SAR\*».

$$SAR^* = SAR \cdot [1 + (8,4 - pHc)], \quad (1.10)$$

де  $pHc = (pK_2 - pK_{CaCO_3}) + p(Ca + Mg) + p(Al_k)$ .

Складові величини  $pHc$  знаходять за табл. 1.15.

У табл. 1.15 чотири графи:

1 – концентрація іонів – у даному випадку сума аніонів та катіонів (табл. 1.2)  $8,24 + 8,24 = 16,48$  мекв/дм<sup>3</sup>;

2 – різниця між другою константою дисоціації  $H_2CO_3$  і множенням розчинності  $CaCO_3$ , яка розрахована виходячи з іонної сили води  $(pK_2 - pK_{CaCO_3})$  – для даного прикладу 2,4;

3 – активність іонів лужноземельних металів  $p(Ca + Mg) - 2,0$ ;

4 – поправка на загальну лужність  $p(Al_k) - 1,7$ ;

$p$  – знак логарифма зі знаком «мінус»  $Al_k = (CO_3^{-2} + HCO_3^{-1})$ , мекв/дм<sup>3</sup>.

Якщо величина  $pHc$ , що розрахована за даними табл. 1.15, перевищує 8,4, то це свідчить про тенденцію розчинення карбонату кальцію і перехід його в розчин, при цьому рівень небезпеки осолонцювання *знижується*. Значення  $pHc$ , які нижчі 8,4, вказують на тенденцію випадіння карбонату кальцію в осад і тим самим – на *підвищення рівня* небезпеки осолонцювання.

Отже, для розглянутого прикладу:

$$pHc = 2,4 + 2,0 + 1,7 = 6,1,$$

$$SAR^* = 1,30 \cdot [1 + (8,4 - 6,1)] = 4,29.$$

Навіть при врахуванні процесу осідання карбонатів значення показника SAR менше 10, що свідчить про низький рівень небезпеки осолонцювання.

**Таблиця 1.15 – Дані для визначення рНс за додатками поправочного коефіцієнта для розрахунку SAR\***

Концентрація іонів, мекв/дм <sup>3</sup>	$pK_2 - pK_{CaCO_3}$	$p(Ca + Mg)$	$p(Al_k)$
1	2	3	4
0,1	2,0	4,3	4,0
0,2	2,0	4,0	3,7
0,3	2,0	3,8	3,5
0,4	2,0	3,7	3,4
0,5	2,1	3,6	3,3
0,75	2,1	3,4	3,1
1,0	2,1	3,3	3,0
1,25	2,1	3,2	2,9
1,5	2,1	3,1	2,8
2,0	2,2	3,0	2,7
2,5	2,2	2,9	2,6
3	2,2	2,8	2,5
4	2,2	2,7	2,4
5	2,2	2,6	2,3
6	2,2	2,5	2,2
8	2,3	2,4	2,1
10	2,3	2,3	2,0
12	2,3	2,2	1,9
15	2,3	2,1	1,8
20	2,4	2,0	1,7
30	2,4	1,9	1,5
50	2,5	1,6	1,3
100	2,5	1,5	1,2

Крім осолонцювання ґрунту іонами натрію, можливе також осолонцювання іонами магнію. Оцінити якість води за небезпекою осолонцювання ґрунтів іонами магнію можна за класифікацією *Собольча та Дараба*. Воду оцінюють за потенціальним вмістом магнію в поливній воді. Показник, вище якого магній негативно впливає на ґрунт, визначають за такою нерівністю

$$\frac{Mg^{+2} \cdot 100}{Ca^{+2} + Mg^{+2}} \leq 50 \%. \quad (1.11)$$

Для розглянутого прикладу в завданні 1  $\frac{2,25 \cdot 100}{2,75 + 2,25} = 45 < 50 \%$ . Нерівність справ-

джується, тому можна зробити висновок, що осолонцювання іонами магнію не повинне бути.

Для спрощення оцінки щодо можливого осолонцювання ґрунту водою можна скористатися відношенням Mg/Ca. Якщо це відношення менше 1, то осолонцювання магнієм не повинне мати місце, якщо більше 1 то необхідно нейтралізувати іони магнію іонами кальцію.



**Можейко і Воротнік** виділили три класи вод за ступенем їх мінералізації, г/дм<sup>3</sup>: менше 1; 1,0–3,0; 3,0–5,0 та групи за вмістом суми натрію й калію (%), типи за характером реакції й підтипи за характером аніонів, які повторюються в кожному класі. Іригаційна характеристика (*r*) базується на вмісті суми натрію та калію від суми всіх катіонів із трьома градаціями (%): 75 і більше – досить загрозливі для осолонцювання ґрунтів; 65–75 – загрозливі; 65 і менше – незагрозливі. Іригаційну характеристику визначають за формулою

$$r = \frac{Na^+}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+} \cdot 100\% \quad (1.12)$$

### Завдання 1.2 Оцінка якості зрошувальної води за агрономічними критеріями

Дано: 1. Результати хімічного аналізу проби води із Самарської затоки та р. Кільчень біля магістрального каналу МК-1 ГНС-1, ЗАТ «Дніпро», Кільченська зрошувальна система (табл. 1.16).

2. Дата відбору проби – 19 квітня 2018 р.

**Таблиця 1.16 – Результати хімічного аналізу зрошувальної води**

рН	Аніони, мг/дм <sup>3</sup>				Катіони, мг/дм <sup>3</sup>			Загальна мінералізація, г/дм <sup>3</sup>
	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-1</sup>	Cl <sup>-1</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+1</sup> + K <sup>+1</sup>	
7,8	-	457	195	744	135	129	252	1,912

2. ґрунти зрошуваної ділянки – чорноземи звичайні важкосугликові.

3. Група ґрунту за лужно-кислотним показником – лужна.

Необхідно виконати оцінку зрошувальної води за агрономічними критеріями.

Розв'язок.

Перерахунок іонів із розмірності мг/дм<sup>3</sup> у мекв/дм<sup>3</sup> наведено в табл. 1.17.

Сума аніонів і катіонів однакова – 28,5 мекв/дм<sup>3</sup>.

Хімічний тип зрошувальної води – гідрокарбонатно-сульфатна кальцієво-магнієво-натрієва.

Відношення суми лужних катіонів натрію до суми всіх катіонів – 39 %.

**Таблиця 1.17 – Перерахунок іонів у різні форми**

Показник	Аніони				Катіони			Сума		
	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-1</sup>	Cl <sup>-1</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+1</sup> + K <sup>+1</sup>	аніонів	катіонів	іонів
мг/дм <sup>3</sup>	-	467	195	744	135	129	252			1912
Еквівалентна маса	30	61	35,5	48	20	12	23			
мекв/дм <sup>3</sup>	-	7,50	5,50	15,50	6,75	10,75	11,00	28,5	28,5	
%-екв	-	26	19	55	24	37	39	100	100	

Відношення концентрації катіонів магнію до концентрації катіону кальцію –  $10,75/6,75 = 1,59$ . Оскільки це відношення більше 1, то необхідно перерахувати відношення лужних катіонів  $11,00 + (10,75 - 6,75) = 15,00$  мекв/дм<sup>3</sup>, або 53 %.

Вміст аніонів хлору – 5,5 мекв/дм<sup>3</sup>.

Схема зв'язування іонів у гіпотетичні молекули токсичних і нейтральних солей наведена в табл. 1.18.

Сума токсичних солей в еквівалентах хлору

$$eCl^{-1}(\text{токс.}) = 5,50 + 0,2 \cdot 10,50 + 0,4 \cdot 0 + 5 \cdot 0 = 7,60 \text{ мекв/дм}^3.$$

Вміст лужності від токсичних карбонатів – 0.

Вміст загальної лужності – 7,50 мекв/дм<sup>3</sup>.

Вміст токсичної лужності ( $\text{HCO}_3^{-1}-\text{Ca}^{+2}$ ) – 5,75 мекв/дм<sup>3</sup>.

**Таблиця 1.18 – Схема зв'язування іонів у гіпотетичні молекули токсичних і нейтральних солей**

Іони	$\text{CO}_3^{-2}$	$\text{HCO}_3^{-1}$	$\text{SO}_4^{-2}$	$\text{Cl}^{-1}$	Сума
$\text{Ca}^{+2}$	-	<sup>2</sup> 1,75	<sup>5</sup> 5,00	<sup>8</sup> -	6,75
$\text{Mg}^{+2}$	-	<sup>3</sup> 5,75	<sup>6</sup> 5,00	<sup>9</sup> -	10,75
$\text{Na}^{+}+\text{K}^{+1}$	<sup>1</sup> -	<sup>4</sup> -	<sup>7</sup> 5,50	<sup>10</sup> 5,50	11,00
<b>Сума</b>	-	7,50	15,50	5,50	28,50

Водневий показник – 7,8.

За небезпекою вторинного засолення зрошувальну воду необхідно віднести до II класу, через те що концентрація токсичних іонів складає 7,60 мекв/дм<sup>3</sup>. Межі оцінки для суглинистих ґрунтів для води II класу від 5 до 25 мекв/дм<sup>3</sup> (табл. 1.17).

За небезпекою підлугування ґрунту зрошувану воду (рН=7,8 – I клас,  $\text{CO}_3^{-1}$  – відсутній – I клас,  $\text{HCO}_3^{-1}-\text{Ca}^{+2}=5,75$  мекв/дм<sup>3</sup> – II клас) необхідно віднести за більшістю показників до I класу (табл. 1.6).

За небезпекою токсичного впливу на рослини зрошувальну воду (рН=7,8 – II клас,  $\text{CO}_3^{-1}$  – відсутній I клас,  $\text{Cl}^{-1} = 5,5$  мекв/дм<sup>3</sup> – II клас, вміст токсичних іонів в еквівалентах  $\text{Cl}^{-1} = 7,6$  мекв/дм<sup>3</sup> – I клас) необхідно віднести до I класу за більшістю показників (табл. 1.8). За небезпекою осолонцювання зрошувальну воду (відношення лужних катіонів до всіх катіонів – 53 %, за небезпекою підлугування – I клас, ґрунти – чорноземні суглинкові середньобуферні) необхідно віднести до II класу. Для попередження осолонцювання застосовують кальцієві меліоранти.

## 1.7. Оцінка якості зрошувальної води за термодинамічними показниками

Для характеристики реальних систем, що утворюються при взаємодії поливної води з ґрунтами, виходячи із термодинамічного принципу їх взаємозв'язку, запропоновано використовувати спряжене визначення показників активності іонів  $\text{H}^{+1}$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Na}^{+1}$  в зрошувальних водах і рівновеликих ґрунтових розчинах. Виражені через їх від'ємні логарифми (рН, рСа, рНа) названі показники є фізико-хімічними, що відображають *кислотно-лужні* (рН), *буферні* (рСа) і *солонцеві* (рНа) властивості ґрунтів.

Визначають показники активності іонів рСа і рНа експериментально за допомогою іонно-селективних електродів з кальцієвою і натрієвою функціями на універсальному іонометрі ЭВ-74 (у лабораторних умовах) або – переносного іонометра И-102 (у польових умовах).

Для оперативного контролю якості зрошувальних вод можна користуватися розрахунковим методом визначення показників активності іонів. При цьому

розраховують коефіцієнти активності за формулою *Дебая–Гюккеля*, яка дозволяє з певною точністю знаходити коефіцієнти активності іонів в розчинах, іонна сила яких не перевищує 0,06.

Іонну силу розчину  $\mu$  розраховують за формулою

$$\mu = \frac{1}{2} \sum c_i \cdot z_i^2, \quad (1.13)$$

де  $c_i$  – концентрація  $i$ -го іона, моль/л;

$z_i$  – заряд  $i$ -го іона.

Для переходу від концентрації іонів в мг/дм<sup>3</sup> до моль/дм<sup>3</sup> необхідно перевести спочатку в г/дм<sup>3</sup>, тобто значення в мг/дм<sup>3</sup> розділити на 1000, потім розділити одержані значення на молярну масу. Молярна маса залежить від молекулярної маси хімічних елементів, що входять до цих іонів, і не залежить від їх заряду. Одержані значення в моль/дм<sup>3</sup> будуть відрізнятися від мекв/дм<sup>3</sup> для двовалентних іонів. У табл. 1.19 наведений приклад перерахунку в молярну форму для завдання 1.

**Таблиця 1.19 – Перерахунок концентрації іонів у зрошувальній воді в різні форми (рН=8,2)**

Показник	Аніони				Катіони			Сума		
	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-1</sup>	Cl <sup>1</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+1</sup>	аніонів	катіонів	іонів
Мг/л	-	183	53	180	55	27	72			573
Еквівалентна маса	30	61	35,5	48	20	12	23			
Мекв/дм <sup>3</sup>	-	3,00	1,49	3,75	2,75	2,25	3,24	8,24	8,24	
%-екв	-	36	18	46	33	27	40	100	100	
Молярна маса	60	61	35,5	96	40	24	23			
Моль/дм <sup>3</sup>	-	0,0030	0,0015	0,0019	0,0014	0,0012	0,0032			0,044

За формулою (1.10) визначаємо іонну силу для одержаних значень

$$\mu = \frac{1}{2} \left( 0,0030 \cdot 1^2 + 0,0015 \cdot 1^2 + 0,0019 \cdot 2^2 + 0,0014 \cdot 2^2 + 0,0012 \cdot 2^2 + 0,0032 \cdot 1^2 \right) = 0,0257.$$

Величину активності іонів кальцію і натрію визначають за формулою

$$a = c \cdot f, \quad (1.14)$$

де  $a$  – активність іона, моль/дм<sup>3</sup>;

$c$  – концентрація іона, моль/дм<sup>3</sup>;

$f$  – коефіцієнт активності, який визначають за табл. 1.20 залежно від  $\mu$ .

Для розглянутого прикладу в завданні 1.2 коефіцієнт активності  $f$  буде складати:

- для одновалентного іона  $f = 0,85$ ;

- для двовалентного іона  $f = 0,53$ .

Тоді величина активності іонів буде становити:

-  $a_{Ca} = 0,0014 \cdot 0,53 = 0,000742$  моль/дм<sup>3</sup>;

-  $a_{Na} = 0,0032 \cdot 0,85 = 0,00272$  моль/дм<sup>3</sup>.

Показники  $pCa$  і  $pNa$  визначають як від'ємні логарифми від активності іонів за формулами

$$pCa = -\lg(a_{Ca}), \quad (1.15)$$

$$pNa = -\lg(a_{Na}). \quad (1.16)$$

**Таблиця 1.20 – Значення коефіцієнтів активності при різній іонній силі**

Іонна сила $\mu$	Коефіцієнт активності $f$	
	одновалентний іон	двовалентний іон
0,001	0,96	0,86
0,002	0,95	0,79
0,003	0,95	0,74
0,004	0,93	0,73
0,005	0,92	0,72
0,006	0,92	0,69
0,007	0,92	0,67
0,008	0,91	0,66
0,009	0,90	0,64
0,010	0,89	0,63
0,015	0,88	0,59
0,020	0,87	0,55
0,025	0,85	0,53
0,030	0,84	0,50
0,035	0,83	0,49
0,040	0,83	0,47
0,045	0,82	0,45
0,050	0,81	0,44
0,055	0,80	0,42
0,060	0,80	0,40

Отже, прологарифмувавши величину активності іонів одержуємо  $pCa=2,13$ ,  $pNa=2,57$  і розраховуємо:

- натрієво-кальцієвий потенціал, що характеризує процес осолонцювання –  
 $pNa-0,5pCa=2,13-0,5 \cdot 2,57=0,845$ ;
- воднево-натрієвий потенціал, що характеризує процес підлугування –  
 $pH-pNa=7,8-2,57=5,23$ ;
- відношення потенціалів  $\frac{pH - pNa}{pNa - 0,5pCa} = \frac{5,23}{0,845} = 6,19$ .

Оцінюють воду для поливів сільськогосподарських культур за термодинамічними показниками згідно табл. 1.21.

**Таблиця 1.21 – Оцінювання якості зрошувальної води за термодинамічними показниками**

Буферність ґрунту	Термодинамічні потенціали зрошувальної води			Клас якості води
	$pNa-0,5pCa$	$pH-pNa$	$\frac{pH-pNa}{pNa-0,5pCa}$	
Низька	Понад 1,35	3,0–4,0	Менше 3,0	I
Середня	Понад 1,25	3,0–4,5	Менше 3,6	
Висока	Понад 1,20	3,0–5,0	Менше 4,2	
Низька	1,35–0,65	4,0–5,0	3,0–7,0	II
Середня	1,25–0,55	4,5–6,0	3,6–11,0	
Висока	1,20–0,50	5,0–7,0	4,2–14,0	
Низька	Менше 0,65	Понад 5,0	Понад 7,0	III
Середня	Менше 0,55	Понад 6,0	Понад 11,0	
Висока	Менше 0,50	Понад 7,0	Понад 14,0	

У розглянутому прикладі вирішення завдання 1.2 – середня буферність ґрунту (п. 1.6), тому за всіма потенціалами і їх відношенням якість зрошувальної води необхідно віднести до II класу, тобто «Обмежено придатна для зрошення». При використанні такої води необхідно застосовувати комплекс заходів щодо попередження деградації ґрунтів.

## 1.8. Класифікація природних вод відповідно до заходів, необхідних для їх поліпшення

Іригаційна класифікація передбачає поділ води в джерелах зрошення на VI класів (Лозовіцький П.С., 2014):

I – придатна для зрошення без внесення хімічних меліорантів;

II – має потребу в зниженні лужності перед поливом;

III – вимагає насичення кальцієвими солями;

IV – має потребу в зниженні лужності й насиченні кальцієвими солями;

V – має потребу в зниженні лужності, насиченні кальцієвими солями й розведенні прісною водою;

VI – непридатна для зрошення.

Кожний із класів природних вод за величиною загальної мінералізації, рН, за вмістом головних іонів, співвідношенням  $\frac{Na^+}{Ca^{2+}}$  розділений на підкласи:

у I класі – чотири, у II, III, IV, V – по три. Доцільність поділу природних вод на підкласи складається у визначенні впливу непідготовленої води на зміни у ґрунтах і їх властивостей, а також – у виборі кількості необхідного меліоранту для поліпшення хімічного складу.

Поливна вода з мінералізацією до 2 г/дм<sup>3</sup>, гідрокарбонатного кальцієвого складу, рН 6,5–7,5 належить до I класу іригаційної класифікації, не вимагає внесення хімічних меліорантів, придатна для зрошення ґрунтів усіх типів. Але природна вода з мінералізацією до 0,6 г/дм<sup>3</sup> на більшості зрошувальних систем півдня України в перші роки зрошення викликає негативні процеси – прогресуюче опріснення ґрунтів і материнської породи, особливо в умовах глибокого залягання рівня підґрунтової води.

Вода з мінералізацією до 2,0 г/дм<sup>3</sup>, рН < 8,5, хлоридного натрієвого або сульфатного натрієвого складу, 1 < Na/Ca < 6 (III клас) перед використанням для зрошення вимагає внесення кальцієвих солей.

Вода з мінералізацією до 2,0 г/дм<sup>3</sup>, рН > 8,0–8,5, хлоридного натрієвого або сульфатного натрієвого складу, із відношенням Na/Ca 3,6–6,0 вимагає внесення кальцієвих солей і кислот для нейтралізації соди.

Вода з мінералізацією 2,0–3,0 г/дм<sup>3</sup> хлоридного натрієвого або сульфатного натрієвого складу, рН < 8,5 вимагає насичення кальцієвими солями, розведення прісною водою і може періодично використовуватися для зрошення й промивання засолених земель.

Вода з мінералізацією більше 3 г/дм<sup>3</sup>, із співвідношенням Na/Ca > 6,0, вмістом сульфат-іонів більше 20 мекв/дм<sup>3</sup> непридатна для зрошення.

До I класу належить дуже прісні, прісні, солонуваті, помірно солоні, солоні природні води з мінералізацією до 2,0 г/л, рН 6,5–7,5, гідрокарбонатного кальцієвого складу, із вмістом натрію менше 33 %, кальцію – більше 33 % від суми

катіонів, хлору менше 10 мекв/дм<sup>3</sup>, співвідношенням  $\frac{Na}{Ca} < 1$ , а  $\frac{Na}{Ca + Mg} < 0,7$ . За вмістом солей у водах I класу та за їхнього впливу на ґрунти виділено чотири підкласи: до 0,6; 0,6–1,0; 1,0–1,5; 1,5–2,0 г/дм<sup>3</sup>.

Зрошення дуже прісною водою (менше 0,5 г/дм<sup>3</sup>) у перші роки зрошення веде до інтенсивного розчинення й виносу солей, доопріснення кореневого шару ґрунтів, вимивання карбонатів. Отже, така вода є обмежено придатною для зрошення. До I підкласу першого класу відносяться води річок Дніпро, Дунай, Дністер, Південний Буг, Альма, Кача, Бельбек, Чорна та ін.

У другий підклас віднесені прісні дренажно-скидні води Краснознам'янської, Каланчакської та інших зрошувальних систем Причорномор'я, води річок Криму (Бюк-Карасу, Салгир та ін.), ґрунтові води зрошуваних масивів Наддніпрянини.

Третій підклас I класу – солонуваті дренажно-скидні води Причорномор'я, ґрунтові і підземні води і води річки Інгул в окремі періоди року.

Четвертий підклас – деякі підземні неогенові водоносні горизонти півдня України й Криму, що мають гідрокарбонатний кальцієвий склад із мінералізацією 1,5–2,0 г/дм<sup>3</sup>.

II клас включає води, мінералізація яких така сама, як і у вод I класу, але з більш високим рН, що мають потребу в зміні реакції.

У перший підклас II класу віднесені слаболужні води, у другий – середньолужні, у третій – сильнолужні із загальною мінералізацією до 2 г/дм<sup>3</sup>, гідрокарбонатного кальцієвого складу. Ознакою класу є потреба в зниженні лужності лужних вод шляхом внесення кислот перед поливами. Води I класу можуть неодноразово за вегетаційний період переходити в другий клас і навпаки. Єдиною відмінністю між класами є величина рН.

Для зниження лужності води по трасі каналу не нижче 7,5 рН на 1 м<sup>3</sup> води, віднесеної до II класу (Дніпро, Дунай, Дністер, Південний Буг, Салгир, Бюк-Карасу та ін.), рекомендується вносити концентровану (92 %) сірчану кислоту H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> залежно від терміну використання цієї води після меліорації (табл. 1.22).

**Таблиця 1.22 – Дози H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> для нейтралізації лужності зрошувальної води при різних термінах використання води після меліорації, г/м<sup>3</sup>**

рН природної води	Термін використання для зрошення після меліорації, год.		
	10	24	72
8,0–8,2	18–20	25–28	30–36
8,2–8,4	20–23	28–31	36–42
8,5–8,8	23–26	31–35	42–48
8,8–9,0	26–28	35–39	48–54

Використовуючи H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> іншої концентрації, необхідно перераховувати норми за формулою

$$D_X = \frac{C_1 D}{C_2}, \quad (1.17)$$

де  $D_X$  – доза кислоти меншої концентрації г/м<sup>3</sup>;

$C_1$  – концентрація 96 %-вої  $H_2SO_4$ ;

$C_2$  – концентрація наявної  $H_2SO_4$ , %;

$D$  – доза 96 %-вої  $H_2SO_4$ .

Повне змішування води з кислотою у площині каналу спостерігається приблизно через 50 м від місця введення (дозатора).

У III клас об'єднані природні прісні, солонуваті й помірно солоні води з мінералізацією до  $2,0 \text{ г/дм}^3$ ,  $pH < 8,0-8,5$ , хлоридного натрієвого, сульфатного натрієвого типу, що можуть бути насичені кальцієвими солями (фосфогіпс  $0,4-1,8 \text{ кг/м}^3$ ) для вирівнювання вмісту  $Na^+/Ca^{2+}$ . Обмеження мінералізації вод до  $2,0 \text{ г/дм}^3$  пов'язано з тим, що при насиченні кальцієвими солями їхня мінералізація зростає на  $0,8-1,0 \text{ г/дм}^3$ , а використання природних вод із мінералізацією, більшою за  $3,0 \text{ г/дм}^3$ , може викликати засолення важких ґрунтів чорноземного типу.

Поділ на підкласи проведено за рівнем загальної мінералізації,  $pH$ , за вмістом натрію й кальцію, за співвідношенням катіонів та потреби в меліоранті. Перший підклас – води з мінералізацією менше  $1 \text{ г/дм}^3$ ,  $pH < 8,0$ , співвідношенням  $Na^+/Ca^{2+}$   $1,0-2,5$ , а  $Na^+/Ca^{2+} + Mg^{2+} > 0,7$ ; другий –  $1,0-1,5 \text{ г/л}$  більше  $8,3$ ,  $2,5-4,0$  більше  $0,9$  і третій –  $1,5-2,0 \text{ г/дм}^3$  менше  $8,5$ ,  $4,0-6,0$  більше  $1,2$  відповідно (табл. 1.22).

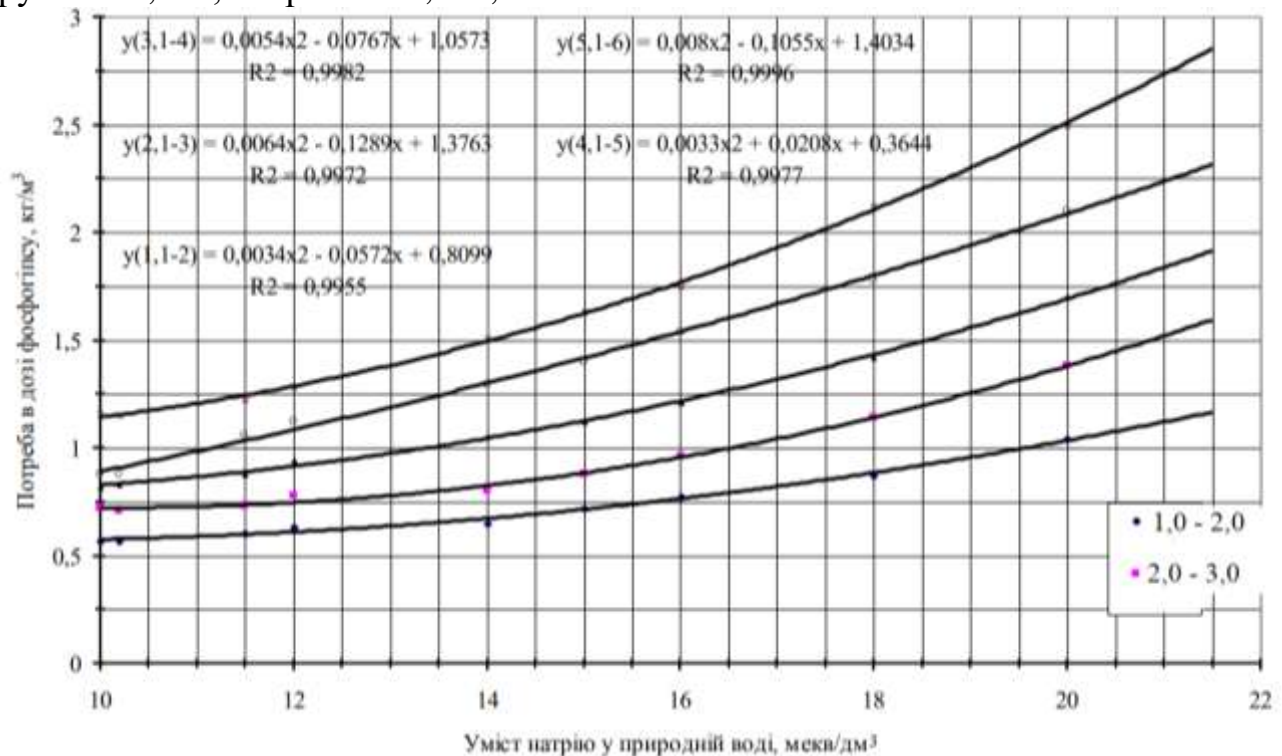
До III класу відносяться природні води річок Сіверський Донець, Інгулець, Самара, Вовча, Інгул, Сарата, Когильник, придунайських озер: Сасик, Китай, Ялпуг, Кугурлуй, Катлабух, Кагул. Хімічний склад вод цих річок необхідно поліпшити шляхом внесення кальцієвих солей (фосфогіпс, гіпс, вапно), а іноді – і сірчаної кислоти.

Дозу фосфогіпсу, необхідну для меліорації природної води залежно від вмісту в ній  $Na^+$  і співвідношення  $Na^+/Ca^{2+}$ , можна встановити за діаграмою, (рис. 1.1), одержаної при експериментальних дослідженнях у лабораторних умовах із водами річки Інгулець і озера Сасик [25].

До IV класу віднесені за хімічним складом і загальною мінералізацією ті самі води, що й до III, але зі значно вищим  $pH$  і концентрацією карбонат іонів. Води IV класу вимагають одночасного зниження лужності, нейтралізації соди сірчаною кислотою ( $10-40 \text{ г/м}^3$ ) й насичення кальцієвими солями фосфогіпсу ( $0,4-1,8 \text{ кг/м}^3$ ). У водах з мінералізацією до  $1,5 \text{ г/л}$  співвідношення  $Na^+/Ca^{2+}$  не перевищує  $2,5$ , а у водах із мінералізацією більше  $2,0 \text{ г/дм}^3$  це співвідношення не буває менше  $4,0$ .

До V класу віднесені солоні природні води з мінералізацією  $2,0-3,0 \text{ г/дм}^3$ , середньолужної й сильнолужної реакції, співвідношенням  $Na^+/Ca^{2+} > 3,0$ , а  $Na^+/Mg^{2+} + Ca^{2+} > 0,6$ . Клас має три підкласи (за вмістом катіонів та їх спів-

відношенням). Перший підклас – води зі співвідношенням  $Na^+ / Ca^{2+}$  3,0–4,0, другий – 4,0–5,0 і третій – 5,0–6,0.



**Рис. 1.1 – Діаграма визначення потреби в дозі фосфогіпсу при меліорації природної води залежно від умісту натрію та відношення  $Na/Ca$  за приведеними рівняннями та лініями регресії (Лозовіцький П.С. 2014).**

Води цього класу вимагають насичення кальцієвими солями, більш високими дозами фосфогіпсу (1,3–2,8 кг/м<sup>3</sup>, або на 30–40 % вище в порівнянні з попереднім класом), зниження лужності сірчаною кислотою й розведення прісною водою в співвідношенні 1 до 3–5. До цього класу відносяться води річок Сіверський Донець, Інгулець, Самара, Вовча, Кальміус, Кальчик, Міус, Молочна та озер Сасик і Китай в певні періоди року.

VI клас – непридатні для зрошення води з мінералізацією більше 3,0 г/дм<sup>3</sup>, співвідношенням  $Na^+ / Ca^{2+} > 6,0$ , вмістом хлору більше 20 мекв/дм<sup>3</sup>, сульфатів більше 20 мекв/дм<sup>3</sup> і  $Na^+$  більше 65 % від суми катіонів. До цього класу відносяться води Хаджибейського, Тилігульського, Березанського, Молочного й південної частини Дністровського лиманів.

Розглянуто лише найпоширеніші та загальновизнані класифікації й методи оцінки якості поливної води, які в багатьох випадках дають непорівнянні результати й викликають протиріччя одна відносно одної.

## 1.9. Оптимальний температурний режим зрошувальної води

У вегетаційний період при поливі дощуванням, згідно з ДСТУ 2730 оптимальний температурний режим зрошувальної води має бути в межах від 10 °С



до 30 °С. Для поливу в поза вегетаційний період температуру води не нормують. При зрошенні краплинним, самопливно-поверхневим і внутрішньогрунтовим способом температура води також не регламентується, тому що вода безпосередньо не стикається з рослинами.

Низька або висока температура ґрунту, а також – поливної води несприятливо впливає на ріст і всмоктувальну діяльність коренів рослин, на життєдіяльність мікроорганізмів, погіршуючи постачання рослин поживними речовинами, головним чином азотом.

Відомі випадки, коли влітку при швидкому і різкому охолодженні коренів, особливо молодих рослин, відбувається так зване явище температурного «шоку». Воно проявляється у в'яненні і навіть в опаданні листя. Це може відбутися при поливі холодною водою вдень (артезіанською, колодязною, гірською), коли ґрунт і рослини сильно нагріті сонцем. При температурному «шоці» надходження води в корені тимчасово скорочується, що при високій транспірації погано позначається на рослині. Погіршуються використання корінням поживних речовин і їх синтез.

Оптимальна температура ґрунту для росту і життєдіяльності коренів більшості, плодових і ягідних рослин знаходиться приблизно в межах від +15 до +25 °С. Отже, температура поливної води має бути близькою до цих величин.

При поливі не слід використовувати воду безпосередньо з глибоких артезіанських свердловин, оскільки вона має температуру від +8 до +10 °С. Таку воду треба попередньо прогріти в спеціальному басейні або резервуарі. Зазвичай використовують ємкості місткістю, достатньою для безперервного запасу теплої води. У більшості випадків ємкості закріплюють на металевих або цегляних опорах на висоті або встановлюють на найбільш високому місці ділянки. При цьому воду з неї можна подавати самопливом основним трубопроводом, і потім – по відгалуженнях – на кожну індивідуальну ділянку. У жаркі дні вода в ємкостях нагрівається до 23–25 °С і вище.

## **1.10. Заходи щодо підвищення якості зрошувальної води**

Якість зрошувальної води може не задовольняти тим чи іншим умовам, тоді необхідно передбачати заходи щодо підвищення її якості, або зовсім припинити поливи. З огляду на підвищення якості зрошувальної води за агрономічними критеріями, методи можна розділити на дві групи: зменшення мінералізації і покращення складу поливної води.

### **1.10.1. Зменшення мінералізації зрошувальної води**

Розбавлення мінералізованих вод прісними застосовують для зменшення мінералізації або для будь-якої зміни співвідношення іонів. Кратність розбавлення розраховують за формулою

$$K = \frac{C_m - 1}{1 - C_n}, \quad (1.18)$$

де  $K$  – кратність розбавлення до концентрації меншої або рівної  $1 \text{ г/дм}^3$ ;

$C_M$  та  $C_n$  – відповідно вміст солей в мінералізованих та прісних зрошувальних водах, відповідно,  $\text{г/дм}^3$ .

За даними В.А. Ковди від засолення ґрунтів розбавлення поливної води є малоефективним заходом, оскільки не звільняє зрошувальні води від накопичення сольових мас, які осідають у ґрунтах. Вважають, що необхідно віддавати перевагу використанню мінералізованих вод на спеціально відведених ділянках масиву з легкими ґрунтами при вирощуванні солестійких сільськогосподарських культур. Утилізація цих вод рекомендується на ґрунтах з низькою природною родючістю, наприклад на солонцях і солончаках.

Опріснення мінералізованих вод методами дистиляції, кристалізації, зворотного осмосу, іонного обміну та електролізу на найближчі роки в Україні є безперспективними в зв'язку з неможливістю будівництва установок необхідної потужності та великої їх енергоємності, а також – з відсутністю умов для використання відторгнених солей.

**Опріснення води** – видалення з води розчинених у ній солей до концентрації, яка є допустимою під час використання води для господарсько-питних або технічних потреб.

Для питного водопостачання і зрошення придатна вода з вмістом розчинних солей не більше  $1 \text{ г/л}$ . Нині відомо близько 30 способів опріснення морської води. Зокрема, прісну воду одержують за таких умов:

- 1) випаровування (дистиляція), у тому числі
  - звичайна дистиляція;
  - багатостадійна флеш-дистиляція;
  - дистиляція під низьким тиском (вакуумна дистиляція);
  - термокомпресорна дистиляція;
- 2) виморожування;
- 3) іонний обмін;
- 4) електродіаліз;
- 5) зворотний осмос;
- 6) прямий осмос;
- 7) гідродинамічне розділення (сепарація);
- 8) електрохімічний спосіб.

**Дистиляція** (найбільш відомий з глибокої давнини метод опріснення солоної води) – це, коли солена вода випаровується в спеціальній установці, а потім із пари відбирають конденсат у вигляді прісної води. Солі залишаються в початковому розчині (тузлуці), який постійно поповнюється свіжою водою. Процес достатньо трудомісткий і енерговитратний, тому весь час шукають здешевлювання технології одержання прісної води із мінералізованої. Із збільшенням потужності опріснювача підвищується його рентабельність, яка лімітується витратами на будівництво трубопроводів, що постачають воду споживачам. При зростанні продуктивності установки від  $60 \text{ м}^3$  до  $4 \text{ тис. м}^3$  води на добу вартість одиниці продукції зменшується в 4 рази, якщо довжина трубопроводу не перевищує  $150\text{--}200 \text{ км}$ .

Економічність установки залежить від того, як використовується опріснена вода. Найбільш ефективними опріснювачі, які дають питну воду і постачають опріснену воду на підприємства та забезпечують зрошення цінних культур (цитрусових, бавовнику та ін.), тому що продукція цих галузей аграрного виробництва виправдовує витрати на створення установок.

Усі способи перетворення солоної води в прісну вимагають великих витрат енергії. Наприклад, при опрісненні шляхом дистиляції витрачається 13–14 кВт-год/м<sup>3</sup> продукції. Загалом на частку електроенергії припадає приблизно половина всіх затрат на опріснення, а інша половина – на ремонт та амортизацію обладнання. Таким чином, вартість опріснення води залежить в основному, від вартості електроенергії. Проте там, де для життєзабезпечення людей не вистачає прісної води і є умови для будівництва опріснювачів, вартісний фактор відступає на другий план. У деяких районах опріснення, незважаючи на його високу вартість, є економічно вигіднішим, ніж привезення води здалеку. На нинішній день удосконалення конструкцій опріснювачів і збільшення їх потужності дозволили знизити вартість виробленої ними води до 1 дол. за 1 м<sup>3</sup>. На великих установках у Кувейті і на Канарських островах вартість води знизилася до 10 центів за 1 м<sup>3</sup>.

Вельми перспективним для опріснення води стало використання атомної енергії. У цьому випадку атомна електростанція (АЕС) «злучається» зазвичай з дистиляційним опріснювачем, який вона живить енергією. Звичайний реактор потужністю 1,0–1,5 млн кВт забезпечує потреби АЕС потужністю 200–300 кВт і роботу опріснювальної установки, що виробляє 75–100 тис. м<sup>3</sup>/год чистої води, однак таке поєднання маловигідне при невеликій потужності опріснювача.

Найефективнішими є реактори на швидких нейтронах, які виконують потрійну функцію:

- по-перше, вони відтворюють ядерне паливо, оскільки використання в них урану-235 призводить до утворення плутонію-239;
- по-друге, забезпечують роботу АЕС великої потужності;
- по-третє, дають енергію для потужних опріснювачів продуктивністю в кілька мільйонів кубометрів води на добу.

Опріснення води для промислових і господарсько-питних потреб здійснюється на опріснювальних установках. У 1972 році, в місті Шевченко (Казахстан, нині місто Актау), вперше у світі була введена в дію і діяла майже 30 років атомна опріснювальна установка на базі реактора на швидких нейтронах бн-350.

**Технологія виморожування солі** полягає в охолодженні мінералізованої води, яка перетворюється в кубики прісноводного льоду, покритого кристалами солі. Ці кристали потім змивають прісною водою і одержують прісний лід.

**Технологія перекачаного льоду** – це технологія виробництва і застосування текучого середовища і вторинних холодильних агентів, які також називають *холодоносіями*, з в'язкістю води або желе і потенціалом холоду льоду. Перекачаний лід – це суспензія, що складається з кристалів льоду, розмірами від 5 до 10 000 мікрон, розсолу або мінералізованої води, або поживної рідини і бульбашок газу, наприклад повітря, озону, вуглекислого газу.

Технологія перекачаного льоду може бути рекомендована для очищення (освітлення) осадів стічних вод, а також опріснення високомінералізованих вод, у тому числі морських.

При застосуванні технології заморожування є деякі переваги порівняно з іншими методами. Ці переваги включають нижчу потребу в електроенергії, мінімальний потенціал для корозії і відсутність заростання накипом поверхонь теплообмінників. Недоліком заморожування є утворення льодоводяних сумішей, переміщення і обробка яких мають певні складнощі. Невелику кількість опріснювальних станцій було побудовано за останні 50 років, але процес не мав комерційного успіху при виробництві прісної води для муніципальних потреб. Разом із тим льодогенератори перекачаного льоду пропонують доступну альтернативу завдяки високій ефективності процесу кристалізації. Існуючі моделі не мають необхідного потенціалу для промислових опріснювальних установок великої потужності, але невеликі установки перекачаного льоду достатні і зручні для малих потреб в опрісненні.

**Іонний обмін** – це оборотна хімічна реакція, під час якої відбувається обмін іонами між твердою речовиною (іонітом) і розчином електроліту. Іонний обмін може відбуватися як у гомогенному середовищі (істинний розчин декількох електролітів), так і в гетерогенному, в якому один із електролітів є твердим (при контакті розчину електроліту з осадам, іонітом та ін.).

**Катіонний обмін** – окремих випадок іонного обміну, під яким у хімії розуміють оборотний процес стехіометричного обміну іонами між двома контактуючими фазами. Крім того, під іонним обміном розуміють реакції і процес, виділення й очищення речовин із застосуванням іонообмінних матеріалів – іонних смол, цеолітів та ін.

**Електродіаліз** – це процес зміни концентрації електроліту в розчині під дією електричного струму. Електродіаліз застосовують для опріснення води, виділення солей з розчинів.

Розчин для розділення поміщають у посудину, поділену перегородками з напівпроникних мембран. Мембрани вільно пропускають розчин і затримують іони електроліту. Використовуються два види мембран: одні затримують катіони, інші – аніони. Ці мембрани розташовані по черзі і поділяють загальний об'єм на безліч порожнин. Через ванну з розчином пропускають постійний електричний струм, який приводить іони розчинених солей в рух. Протилежно заряджені іони рухаються в протилежні боки, але через те що ванна заповнена мембранами, які перешкоджають руху іонів, іони затримуються на найближчій мембрані, відповідного їх заряду, і залишаються в порожнині між двома мембранами. Результатом такого «просіювання» іонів є зміна концентрації розчину між суміжними парами мембран в одній парі відбувається її підвищення, у суміжній парі – зниження.

Установки для діалізу, електродіалізатори – це зазвичай апарати безперервної дії, з постійною подачею вихідного розчину і зливанням розділених концентрату і ділуату.

**Зворотний осмос** – це процес, в якому при певному тиску розчинник (зазвичай вода) проходить через напівпроникну мембрану із більш концентро-

ваного в менш концентрований розчин, тобто у зворотному для осмосу напрямку. При цьому мембрана пропускає розчинник, але не пропускає деякі розчинені в ньому речовини.

Зворотний осмос використовують з 1970-х років при очищенні води, одержанні питної води з морської води, а також – особливо чистої води для медицини, промисловості та для інших потреб. За допомогою зворотного осмосу також можна виробляти концентрати соків без нагріву.

Зворотний осмос належить до найбільш перспективних і широко застосовуваних методів очищення і підготовки води. Установка зворотного осмосу здатна видаляти з води частинки розмірами 0,001–0,0001 мкм. У цей діапазон потрапляють солі жорсткості, сульфати, нітрати, іони натрію, малі молекули, барвники. Для більш ефективної роботи рекомендується застосовувати попередні ступені очищення (механічне очищення і мікро-, ультра- або нанофільтрація), які видаляють більші частинки.

Для одержання прісної води із мінералізованої потрібно мати тиск, що перевищує створюваний тиск мінералізованою водою осмотичний тиск. Ця величина досить висока – існуючі установки нагнітають тиск у 10–12 атм.

У системах очищення води зазвичай використовуються синтетичні напівпроникні мембрани. Мембрана затримує високомолекулярні забруднювачі, але пропускає низькомолекулярні речовини, наприклад кисень, хлор, вуглекислий газ та ін. Деякі гази можуть визначати смак води. Очищена вода може мати слабкокисло реакцію ( $\text{pH} < 7$ ) через наявність розчиненого вуглекислого газу. Властивість практично повністю очищати воду від всіх домішок позбавляє її важливих мікроелементів (якщо вони в ній були до опріснення), тому додавання необхідних солей до опрісненої води – це наступний етап у виробництві якісної питної води. Вода для технічних потреб, наприклад для поливу і миття може бути відразу одержана на більш простих і дешевих мембранах з видаленням лише 95 % солей.

На відміну від перегонки, у процесі зворотного осмосу вода практично не нагрівається, енергія витрачається тільки на роботу насоса, який не тільки перекачує воду (мала частка енерговитрат), але і долає високий осмотичний тиск (основні енерговитрати).

**Прямий** (також природний, або звичайний) **осмос** – осмотичний процес, в якому розчинник (зазвичай вода), відокремлений від розчину напівпроникною мембраною, мимоволі переходить через неї в бік розчину.

Сутність процесу полягає в такому: з одного боку напівпроникної мембрани знаходиться солоня вода, яку потрібно опріснити, з іншого боку мембрани – концентрований розчин спеціально підібраної речовини. Під дією сил прямого осмосу прісна вода просочується крізь мембрану з боку солоня води до концентрованого розчину, розбавляючи його. Після чого змінюють температуру одержаного розчину, речовина розкладається або випадає в осад, і в результаті виходить розчин концентрацією нижчою, ніж вхідна солоня вода. Далі вже одержаний розчин піддається опрісненню тим чи іншим методом, у тому числі можна використовувати описаний метод, але тепер для приготування концентрованого розчину використовують іншу, спеціально підібрану, речовину.

Оскільки концентрація розчинених речовин в отриманому розчині нижче, ніж у вихідному, то подальше його опріснення вимагає менших витрат енергії (наприклад, при застосуванні методу зворотного осмосу). Використовуючи даний метод, частину вартості електричної енергії замінюють на дешеву низькопотенційну (близько 100 °С) теплову енергію (зокрема, сонячну).

### **1.10.2. Поліпшення складу поливної води**

Способи підготовки зрошувальної води до поливів необхідно вибирати з урахуванням її мінералізації, хімічного складу та еколого-меліоративного стану земель, на яких буде використана підготовлена вода (Лозовіцький П.С. 2014).

Поливна вода із загальною мінералізацією до 2 г/дм<sup>3</sup>, гідрокарбонатного кальцієвого складу, величиною водневого показника рН 6,5–7,5 не потребує внесення хімічних меліорантів і придатна для зрошення ґрунтів всіх типів, але через мінералізацію природної води до 0,6 г/дм<sup>3</sup> на більшості зрошувальних систем півдня України відбуваються негативні процеси прогресуючого опріснення ґрунтів зони аерації, особливо в умовах глибокого залягання рівня ґрунтової води.

Поливна вода із загальною мінералізацією до 2 г/дм<sup>3</sup>, гідрокарбонатного кальцієвого складу, слабкокислої реакції водного середовища (рН=6,0–6,5) придатна для зрошення середньо- та сильно лужних ґрунтів без внесення хімічних меліорантів. При зрошенні ґрунтів із нейтральною та кислою реакцією середовища вода потребує підлугування. Дуже кисла (рН=4,0–5,0) та середньо кисла вода (рН = 5,0–6,0) при зрошенні ґрунтів спричиняє розчинення карбонатів, вимивання гумусу, а тому при використанні для зрошення потребує підлугування.

Поливна вода із загальною мінералізацією до 2 г/дм<sup>3</sup>, гідрокарбонатного кальцієвого складу, слаболужної реакції водного середовища придатна для зрошення слабкокислих ґрунтів, при зрошенні лужних – вимагає підкислення. Середньолужна вода придатна для зрошення слабкокислих ґрунтів, при зрошенні нейтральних та лужних – вимагає нейтралізації соди, зниження лужності. Сильнолужна вода придатна для зрошення сильнокислих ґрунтів, при зрошенні інших ґрунтів вимагає нейтралізації соди, зниження лужності.

Природна вода із загальною мінералізацією до 2,2 г/дм<sup>3</sup>, з величиною водневого показника рН менше 8,5, хлоридного натрієвого або сульфатного натрієвого складу, з відношенням вмісту натрію до вмісту кальцію більше одиниці – менше 6 перед використанням на зрошення потребує внесення кальцієвих солей.

Природна вода із загальною мінералізацією до 2,2 г/дм<sup>3</sup>, з величиною водневого показника рН більше 8,0–8,5, хлоридного натрієвого або сульфатного натрієвого складу, з відношенням вмісту натрію до вмісту кальцію 3,6–6,0 перед використанням на зрошення потребує одночасного внесення кальцієвих солей і кислот.

Природна вода із загальною мінералізацією 2,2–3,0 г/дм<sup>3</sup> хлоридного натрієвого або сульфатного натрієвого складу, з величиною водневого показника рН

менше 8,5 потребує насичення кальцієвими солями, розбавлення прісною водою і може періодично використовуватися для зрошення та промивання засолених земель.

Природна вода із загальною мінералізацією більше 3 г/дм<sup>3</sup>, співвідношенням натрію до кальцію понад 6,0, вмістом сульфат-іонів більше 20 мекв/дм<sup>3</sup> є непридатною для тривалого використання в зрошуваному землеробстві.

**Гіпсування води.** Різні дози фосфогіпсу впливають на збільшення в природних водах концентрації кальцію, сульфатів, загальної мінералізації, сполук фосфору, змінюють значення водневого показника рН. Розчинність меліоранта у воді залежить від кислотої, нейтральної або лужної реакції середовища.

Фосфогіпс – відходи виробництва фосфорних добрив (подвійного суперфосфату й преципітату). Сировина відпускається споживачам у вигляді порошку сірого або білого кольору, який містить до 39–40 % СаО; 56–57 % SO<sub>3</sub>; 1,0–1,2 % Р<sub>2</sub>О<sub>5</sub>; 0,3–0,4 % F; 0,5–0,6 % R<sub>2</sub>O.

За даними П.С. Лозовіцького (1999), зниження величини водневого показника рН природної води при меліорації фосфогіпсом відбувається за рахунок вмісту в останньому сульфату кальцію, який має слабокислу реакцію. Зниження значень рН природної води в лабораторних умовах спостерігається протягом 5–7 год після внесення фосфогіпсу; з плином устанавленого часу в процесі поглинання водою СО<sub>2</sub> із повітря значення рН повільно відновлюються. Так, при внесенні у природну воду 0,6 г/дм<sup>3</sup> фосфогіпсу (доза недостатня для вирівнювання відношення  $Na^+ / Ca^{2+}$ ) величина рН знижується з 8,6 до 8,3 та протягом трьох діб є незмінною, тоді як при внесенні в таку саму воду 2 г/дм<sup>3</sup> (доза достатня) за одну годину величина рН знижується до 7,7; за п'ять годин – до 7,59; за одну добу, відновлюючись, сягає 7,77; за дві доби – 7,93; за три доби – 8,1.

Зниження величини водневого показника рН природної води (y) має зворотній кореляційний зв'язок із дозою фосфогіпсу (x) й описується кубічним рівнянням із коефіцієнтом кореляції ( $r = 0,896 \pm 0,11$ ):

$$y = 8,58 - 0,000565x + 0,0000000547x^2 \quad (1.19)$$

Отже, зниження величини рН залежить як від дози фосфогіпсу, так і від його початкового значення, і якщо це значення перевищує 8,5–8,7, то навіть при повному насиченні меліорованої води кальцієвими солями величина водневого показника рН залишається значною, вищою за оптимальну для більшості вирощуваних культур. Насичення природної води кальцієвими солями фосфогіпсу сприяє підвищенню концентрації кальцію із одночасним збільшенням сульфатів, в основному в рівних з кальцієм величинах, мекв/дм<sup>3</sup>. Мінералізовані (більше 2 г/дм<sup>3</sup>) води з великим вмістом сульфатів (20 і більше мекв/дм<sup>3</sup>) слабо насичуються кальцієвими солями, і як правило співвідношення  $Na^+ / Ca^{2+}$  не вирівнюється.

У лабораторних дослідах доза фосфогіпсу, яка внесена у природну воду, повністю не розчинялась, і більше половини її (у деяких випадках до 75 %) випадало в осад (табл. 1.23) (Лозовіцький П.С. 2014).

Таблиця 1.23 – Вплив хімічного складу природної води й дози фосфогіпсу на зміну основних показників при її меліорації (Лозовіцький П.С. 2014)

Доза мг/дм <sup>3</sup>	рН	Зміна вмісту інгредієнтів, мг/дм <sup>3</sup>										
		CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ca	Mg	Na	Na/Ca	сума солей	осад
-	8,70	9,0	158,6	319,5	108,0	0,3	46	237	237	4,5	1000	0
600	8,38	0	152,5	319,5	384,0	0,9	136	237	237	1,5	1300	320
800	8,20	0	152,5	319,5	456,6	1,3	170	237	237	1,2	1360	440
1000	8,08	0	152,5	319,5	542,2	1,6	200	237	237	1,0	1420	570
1200	7,95	0	152,5	319,5	600,0	1,9	226	237	237	0,9	1490	700
-	8,20	0	225,7	734,1	546,2	0,5	80	516	516	5,6	2120	0
2000	7,40	0	207,4	722,4	1034,4	5,2	260	52	528	1,8	2790	1320
3000	7,30	0	201,4	722,4	1135,7	6,2	320	528	528	1,4	3000	2170
4000	7,25	0	195,2	718,5	1418,4	9,0	340	516	516	1,3	3150	2960
6000	7,15	0	195,2	714,6	1681,4	12,4	420	552	552	1,1	3740	4380

При цьому встановлена така закономірність, чим більші мінералізація та вміст катіонів натрію в природній воді, тим менша розчинність фосфогіпсу і тим більш висока маса нерозчиненого залишку. Так, при мінералізації природної води близько 1 г/дм<sup>3</sup> і співвідношенні  $Na^+ / Ca^{2+} = 4,0$  розчинність фосфогіпсу сягає 50 %, тоді як при насиченні води з мінералізацією більше 2 г/дм<sup>3</sup>, співвідношенні  $Na^+ / Ca^{2+} = 5,6$ , вмістом  $Na^+ - 22,4$  мекв/дм<sup>3</sup> розчинність фосфогіпсу – лише 34–27 %, а інша маса випадає в осад. Крім того, в результаті реакції утворюється карбонат кальцію, який випадає в осад, а також – розчинений сульфат натрію:



при цьому у природній воді повністю нейтралізується карбонат-іон, що обумовлено взаємодією сульфату кальцію фосфогіпсу й соди поливної води.

На розчинність фосфогіпсу впливає термін розчинення. При витримуванні фосфогіпсу в природній воді протягом 24 год. 80–90 % його розчинності припадало на першу годину проведення досліду й лише 10–20 % – на наступні 23 год (табл. 1.24).

При насиченні природної води достатньою дозою солей фосфогіпсу концентрація катіонів кальцію в меліорованій воді може збільшуватися на 9–18 мекв/дм<sup>3</sup>, тобто на 180–360 мг/дм<sup>3</sup>; сульфатів – на 390–1140; загальна мінералізація – на 500–1650 мг/дм<sup>3</sup> (табл.1.24) (Лозовіцький П.С. 2014).

Вміст загальної мінералізації ( $y_a$ ), сульфат-іонів ( $y_b$ ), кальцію ( $y_c$ ) в меліорованій фосфогіпсом природній воді зростає в прямій залежності ( $r_a=0,88\pm 0,11$ ;  $r_b=0,95\pm 0,07$ ;  $r_c=0,93\pm 0,08$ ) від його дози й описується рівняннями:

$$y_a = 978,13 + 0,54D_{\phi}; \quad (1.21)$$

$$y_b = 275,79 + 0,25D_{\phi}; \quad (1.22)$$

$$y_c = 109,05 + 0,06D_{\phi}; \quad (1.23)$$



**Таблиця 1.24 – Вплив тривалості насичення й доз фосфогіпсу на якісний склад меліорованої води (Лозовіцький П.С. 2014)**

Доза г/дм <sup>3</sup>	Зміна показників меліорованої води в часі, год											
	2			24			48			72		
	pH	Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> /Ca <sup>2+</sup>	pH	Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> /Ca <sup>2+</sup>	pH	Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> /Ca <sup>2+</sup>	pH	Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> /Ca <sup>2+</sup>
0	8,6	2,9	4,79	8,65	2,9	4,79	8,68	2,9	4,79	8,63	2,9	4,79
0,6	8,3	6,3	2,21	8,25	7,1	1,96	8,28	7,2	1,93	8,30	7,3	1,90
0,8	8,2	7,2	1,93	8,20	8,4	1,65	8,21	8,5	1,64	8,23	10,0	1,39
1,0	8,1	8,5	1,64	8,16	10,1	1,38	8,18	10,2	1,36	8,21	11,2	1,24
1,2	8,0	10,2	1,36	7,95	11,3	1,23	8,10	12,8	1,09	8,20	13,8	1,01
1,4	7,9	11,8	1,18	7,88	12,7	1,09	8,00	13,5	1,03	8,15	15,1	0,92
1,6	7,8	12,9	1,08	7,85	13,9	1,00	7,98	14,6	0,95	8,13	15,5	0,90
1,8	7,7	13,5	1,03	7,80	15,1	0,92	7,95	15,9	0,87	8,11	16,4	0,85
2,0	7,6	14,1	0,99	7,77	16,3	0,85	7,93	16,8	0,83	8,10	17,2	0,81
3,0	7,5	16,2	0,86	7,69	20,1	0,69	7,80	20,3	0,68	8,00	20,3	0,68

Встановленими й приведеними рівняннями можна прогнозувати кінцеву загальну мінералізацію меліорованої води, вміст катіонів кальцію та сульфат іонів залежно від застосованої дози фосфогіпсу.

Процес насичення поливної води фосфогіпсом призводить до зміни хімічного складу природної води з хлоридного натрієвого до сульфатного натрієво-кальцієвого, до збільшення загальної мінералізації на 0,2–0,8 г/дм<sup>3</sup> та вмісту кальцію в 2,6–6,7 рази, сульфатів у 2–3 рази, сполук фосфору в 7–10 разів, нейтралізації карбонат-іона, зменшення на 0,6–1,8 мг/дм<sup>3</sup> вмісту гідрокарбонатів і на 0,7–1,0 величини водневого показника рН.

Перемішування емульсії з природною водою, зменшення вмісту зважених частинок меліоранту, поліпшення якості меліорованої води в руслі розподільчих каналів відбувається на відстані 1,5–2,0 км від місця насичення. Установки насичення поливної води кальцієвими солями слід розмішувати за 1,5–2,0 км від першої насосної станції, яка забирає підготовлену воду на зрошення.

Із часом якість меліорованої води в розподільчих каналах погіршується, шляхом зворотної реакції частина меліоранту випадає в осад, отже, підготовлену воду необхідно використати для зрошення ґрунтів протягом 24–36 год. і не створювати запасу у верхньому б'єфі в каналі.

Для прогнозу параметрів меліорованої води залежно від доз фосфогіпсу й хімічного складу природної води запропоновані такі формули:

$$M_{M.B.} = 230,2 + 0,276 D_{\phi} + 0,9M; \quad (1.24)$$

$$SO_{4 M.B.} = 0,2D_{\phi} + 0,259M - 44,6; \quad (1.25)$$

$$Ca_{M.B.} = 498,1 + 0,066D_{\phi} + 0,698M - 23,66Ca; \quad (1.26)$$

$$MO = 0,718D_{\phi} + 0,11M - 245,3; \quad (1.27)$$

де  $M_{M.B.}$ ,  $SO_{4 M.B.}$ ,  $Ca_{M.B.}$  – загальна мінералізація, вміст сульфатів, кальцію в меліорованій воді, мг/дм<sup>3</sup>;

$MO$  – маса нерозчиненого залишку від дози внесеного фосфогіпсу, мг/дм<sup>3</sup>;

$SO_4$ ,  $Ca$  – вміст сульфатів і кальцію у природній воді, мг/дм<sup>3</sup>;

$M$  – мінералізація природної води, мг/дм<sup>3</sup>.

Величина зростання концентрації неорганічних сполук фосфору (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) у меліорованій воді залежить від дози фосфогіпсу, але при дозі, достатній для на-

сичення природної води кальцієвими солями, не є загрозою забруднення ґрунтів, підземних вод, сільськогосподарської продукції.

Слід відмітити таке:

- 1) важкорозчинний фосфогіпс інтенсивніше насичує природну воду кальцієвими солями у дрібно меленому стані при постійному механічному перемішуванні;
- 2) процес насичення води кальцієвими солями відбувається найбільш ефективно при вихідній мінералізації води менше 1 г/дм<sup>3</sup>, при цьому загальна мінералізація меліорованої води не перевищує 1,5 г/дм<sup>3</sup>;
- 3) у процесі меліорації вирівнювання вмісту катіонів натрію й кальцію досягається в природній воді із загальною мінералізацією до 2,0 г/дм<sup>3</sup>, співвідношенні  $Na/Ca \leq 6,0$ . При перевищенні вказаних норм співвідношення катіонів у меліорованій воді не вирівнюється.

Для розрахунку доз кальцієвих меліорантів пропонують такі формули

$$N_1 = (Na^{+1} + K^{+1} + HCO_3^{-1} - Ca^{+2}) \cdot a \cdot k; \quad (1.28)$$

$$N_2 = \left\{ Na^{+1} + K^{+1} + Mg^{+2} - \left[ Ca^{+2} - Ca(HCO_3)_2 \right] \right\} \cdot a \cdot k, \quad (1.29)$$

де  $N_1$  і  $N_2$  – дози меліорантів, кг/м<sup>3</sup> зрошувальної води;

$Na^{+1}$ ,  $K^{+1}$ ,  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ,  $HCO_3^{-1}$ ,  $Ca(HCO_3)_2$  – вміст відповідних іонів і солі у воді, мекв/дм<sup>3</sup>;

$a$  – граміві значення в 1 мекв меліоранту (для фосфогіпсу і гіпсу  $a=0,086$ );

$k$  – коефіцієнт, що враховує вміст хімічних домішок і вологи в меліоранті,

$$k = \frac{100}{100 - b}, \quad (1.30)$$

де  $b$  – сумарний вміст у меліоранті домішок і вологи, % від абсолютно сухої речовини.

Формулу (1.28) застосовують у тому випадку, якщо у складі води іонів натрію і калію в сумі більше за вміст кальцію, а кальцію – більше за вміст магнію. Формулою (1.29) користуються в тому випадку, коли у складі води магній переважає над натрієм і калієм у сумі, а також над кальцієм (можливе осолонцювання магнієм).

Оскільки розчинність фосфогіпсу і гіпсу в будь-якій зрошувальній воді коливається від 1,5 до 2,0 г/дм<sup>3</sup>, то і розрахункові дози, які вищі за максимальну розчинність  $CaSO_4$ , необхідно компенсувати, якщо це можливо, більш розчинними меліорантами – хлористим, азотистим кальцієм або внесенням меліорантів у ґрунт.

При внесенні меліорантів не у воду, а в ґрунт (кг/га) їх дози розраховують за формулами

$$N_1 = (Na^{+1} + K^{+1} + HCO_3^{-1} - Ca^{+2}) \cdot a \cdot k \cdot M, \quad (1.31)$$

$$N_2 = \left\{ Na^{+1} + K^{+1} + Mg^{+2} - \left[ Ca^{+2} - Ca(HCO_3)_2 \right] \right\} \cdot a \cdot k \cdot M \quad (1.32)$$

де  $M$  – зрошувальна норма, м<sup>3</sup>/га.

**Використання сірчаної кислоти для зменшення лужності меліорованої води.** Значення водневого показника (рН) в поливній воді при зрошенні чорноземів і темно-каштанових ґрунтів має бути меншим 7,5. При вищих рН у поливній воді зростає лужність ґрунтового розчину, що негативно впливає на ріст сільськогосподарських рослин, хід ґрунтових процесів. Для запобігання цим негативним явищам поливну воду з високими значеннями рН необхідно підкислювати різними кислотами. Найбільш безпечна й ефективна в роботі – сірчана кислота.

Величина зниження лужності залежить від ряду факторів: вмісту гідрокарбонатів; довжини каналів; від температури води, вмісту світло-зелених водоростей (цвітіння води); площі й часу взаємодії води з повітрям, з бетонним руслом і т. ін.

При детальному аналізі відмічених факторів і проведених дослідів зроблено припущення про переважаючий вплив на результати вимірювань взаємодії нейтралізованої води з повітрям, особливо при її аерації, яка підвищувала каламутність. На користь цього свідчить те, що в пробах води, відібраних безпосередньо після гідротехнічних споруд (гідравлічні регулятори рівня, переїзди, бистроток та ін.), де відмічена підвищена циркуляція води, величина водневого показника рН зростала.

Вплив бетону, яким облицьовано відкоси каналів, на зміну реакції нейтралізованої води свідчить про відносно невелике збільшення лужності, яке не перевищує 0,1–0,2 одиниці рН.

Цвітіння води й бурхливий розвиток вищих водних рослин обумовлюють поглинання атмосферного CO<sub>2</sub> та підвищення рН до максимально зареєстрованих значень – 9,1–9,4.

Підкислення лужної й сильнолужної води призводить до зникнення карбонатних іонів та зниження до 30 % гідрокарбонатних.

Для зниження лужності зрошувальної води й підтримання значення рН по трасі каналу на рівні 7,0–7,5 необхідно вносити на 1 м<sup>3</sup> поливної води певні дози концентрованої (92 %) сірчаної кислоти (щільність 1,82) залежно від терміну використання після меліорації (табл. 1.25).

*Таблиця 1.25 – Дози сірчаної кислоти для нейтралізації лужності зрошувальної води, г/м<sup>3</sup> (Лозовіцький П.С. 2014)*

Вихідне значення рН води	Термін використання після меліорації, год.		
	10	24	72
8,0–8,2	18–20	25–28	30–36
8,2–8,4	20–23	28–31	36–42
8,5–8,8	23–26	31–35	42–48
8,8–9,0	26–28	35–39	48–54

При використанні сірчаної кислоти іншої концентрації необхідно вести перерахунок норм за формулою

$$D = \frac{C_1 d}{C_2}, \quad (1.33)$$

де  $D$  – доза кислоти меншої концентрації, г/м<sup>3</sup>;

- $C_1$  – концентрація 96 %-вої сірчаної кислоти;  
 $C_2$  – концентрація наявної сірчаної кислоти, %;  
 $d$  – доза 96 %-вої сірчаної кислоти.

Повне рівномірне в площині каналу змішування води з кислотою спостерігається в межах перших 100 м від місця введення дозатора. Кислотування поливної води змінює її початковий склад. Простежується тенденція до збільшення загальної мінералізації на 0,1–0,2 г/дм<sup>3</sup>, у деяких випадках зафіксовано зменшення на таку саму величину, повністю нейтралізується іон  $\text{CO}_3^{2-}$ , знижується реакція середовища на 0,5–1,2 од. рН залежно від дози кислоти, знижується вміст гідрокарбонатів на 5–23 %, інколи – до 30 %. Вміст хлору поблизу місць введення кислоти знижується на 5–15 %, а з віддаленням трасою каналів – відновлюється до початкового значення. Вміст сульфат-іонів зростає на 10–16 %.

Кислотування природної води в деякій мірі впливає на вміст катіонів. Так, кальцій має тенденцію до накопичення вмісту на 8–14 %, вміст магнію знижується (до 8 %). Іон натрію поводить себе як іон хлору. Ці зміни в хімічному складі меліорованої води відбуваються під дією обмінних реакцій між солями сірчаної кислоти і природної води. На початку реакції хімічна рівновага порушується за рахунок сильного електроліту (сірчана кислота). Всі солі води вступають у реакцію із сульфатним іоном кислоти, що порушує рівновагу. Через деякий час вступає в дію закон мас, і обмінні реакції перебігають в іншому напрямку. Щоб підтримувати постійне зрушення реакції до нейтральної сторони, потрібно подавати кислоту у воду в збільшених дозах. Враховуючи наявність складових кислоти в повітрі, які сприяють відновленню лужності, можна зробити висновок, що меліорована кислотою вода не є постійною буферною системою, а тому легко піддається змінам під дією зовнішніх факторів і легко відновлюється (табл. 1.26).

**Таблиця 1.26 – Вплив доз сірчаної кислоти на зниження й значне відновлення лужності природної води в часі (Лозовіцький П.С. 2014)**

рН	Доза кислоти, г/м <sup>3</sup>	Зміна рН к часі, год.						
		0	1	2	4	24	48	72
Вода, фільтрована								
8,5	9,15	8,00	7,95	8,02	8,15	8,36	8,40	8,48
8,7	18,3	7,40	7,54	7,85	8,10	8,32	8,38	8,42
8,6	27,4	7,12	7,20	7,28	7,40	7,95	8,08	8,20
8,2	36,6	7,00	7,17	7,22	7,35	7,85	8,05	8,18
8,2	60,0	5,85	5,85	5,85	5,85	5,90	5,93	6,05
8,2	91,0	3,20	3,15	3,15	3,15	3,17	3,20	3,25
Вода не фільтрована від синьо-зелених водоростей								
8,2	27,4	7,65	7,65	7,70	7,73	7,85	8,10	8,15
8,6	36,6	7,65	7,73	7,75	7,80	8,00	8,18	8,35

У виробничих умовах (розподільчі канали) процес відновлення величини рН відбувається повільніше, але на відрізках каналів зі швидкістю течії води менше 2 км/год або за її відсутності спостерігаються процеси, схожі з лабора-

торними. Кислотування природної води ефективно в тому випадку, коли меліоровану воду забирають споживачі протягом 24 год після нейтралізації лужності.

Отже, значення величини водневого показника рН у поливній воді має бути менше 7,5. При більш високих значеннях рН лужність поливної води необхідно нейтралізувати.

Дозуючі пристрої для внесення кислоти в природну воду слід розміщувати поблизу напірних водовипусків, де утворюються завихрення, які сприяють інтенсивному перемішуванню кислоти в потоці не ближче ніж за 100 м від першого водозабору підготовленої води насосною станцією.

Стабільно нейтралізується лужність води в тому разі, якщо дози сірчаної кислоти розраховують за вмістом у воді  $\text{CO}_3^{2-}$  і токсичної лужності. Токсична лужність визначається тією часткою аніона  $\text{HCO}_3^{1-}$ , яка не зв'язана з кальцієм. За оптимальних умов (температура 17–20 °С, нормальний парціальний тиск  $\text{CO}_2$  – 3040 Па) з кальцієм може зв'язуватись 1,5–2,0 мекв/дм<sup>3</sup>  $\text{HCO}_3^{1-}$ , в середньому 1,75 мекв/л. Розрахункова формула дози сірчаної кислоти має такий вигляд:

$$N = \left[ \text{CO}_3^{2-} + (\text{HCO}_3^{1-} - 1,75) \right] \cdot \frac{4,9}{C_{\text{H}_2\text{SO}_4}}, \quad (1.34)$$

де  $N$  – доза сірчаної кислоти будь-якої концентрації, кг/м<sup>3</sup> води;

$\text{CO}_3^{2-}$  і  $\text{HCO}_3^{1-}$  – вміст цих іонів у воді, мекв/дм<sup>3</sup>;

$C_{\text{H}_2\text{SO}_4}$  – концентрація сірчаної кислоти в меліоранті, %;

1,75 – кількість кальцію, яка може зв'язувати іони  $\text{HCO}_3^{1-}$  при нормальних умовах, мекв/дм<sup>3</sup>;

4,9 – коефіцієнт переведення від концентрації сірчаної кислоти мекв/дм<sup>3</sup> до кг/м<sup>3</sup>.

### **Завдання 1.3: Розробити заходи щодо покращення якості води**

Дано: 1. Результати хімічного аналізу зрошувальної води і перерахунку іонів у різні форми (табл. 1.17).

2. Передбачається полив чорноземів звичайних важкосуглинкових з нейтральним лужно-кислотним балансом.

3. Концентрація солей в прісній воді – 0,5 г/л.

4. Концентрація сірчаної кислоти в меліоранті (відходи хімічної промисловості) – 50 %.

5. Кількість домішок у меліоранті фосфогіпсу – 20 %.

6. Вологість фосфогіпсу – 12 %.

7. Середня зрошувальна норма – 2000 м<sup>3</sup>/га.

Необхідно розрахувати: 1) розбавлення мінералізованої зрошувальної води прісною;

2) дозу сірчаної кислоти для зниження лужності зрошувальної води;

3) дозу кальцієвих меліорантів.

#### **Розв'язок:**

**1. Розрахувати розбавлення мінералізованої зрошувальної води прісною з концентрацією.**

Якщо необхідно довести концентрацію зрошувальної води нижче 1 г/л, то розрахунок кратності розбавлення можна виконати за формулою (1.18)

$$K = \frac{1,912 - 1}{1 - 0,5} = 1,82 \text{ рази.}$$

тобто, на кожен  $1 \text{ м}^3$  мінералізованої води ( $1,912 \text{ г/л}$ ) необхідно додати  $1,82 \text{ м}^3$  прісної (концентрацією  $0,5 \text{ г/л}$ ) води.

### 2. Розрахунок дози сірчаної кислоти

Для зменшення вірогідності підлугування нейтральних і лужних ґрунтів є необхідним кислування зрошувальної води, оскільки вода «Обмежено придатна» за цими показниками (завдання 1.1). Дозу сірчаної кислоти концентрацією  $50 \%$  для заданих умов можна розрахувати за формулою (1.34)

$$N = [0 + (7,50 - 1,75)] \cdot \frac{4,9}{50} = 0,56 \text{ кг/м}^3.$$

### 3. Розрахунок дози кальцієвих меліорантів

Для виключення осолонцювання зрошувальною водою важкосуглинистих низькобуферних ґрунтів (завдання 1.2) необхідне внесення кальцієвих меліорантів. Оскільки в зрошувальній воді великий вміст іонів магнію (відношення  $\text{Mg}^{+2}/\text{Ca}^{+2} > 1$ ), то дозу фосфогіпсу необхідно розраховувати за формулою (1.29). При цьому, якщо у фосфогіпсі знаходиться  $20 \%$  домішок і  $12 \%$  вологи, то  $b = 20 + 12 = 32 \%$

$$k = \frac{100}{100 - 32} = 1,47.$$

тоді  $N_2 = \{1,100 + 10,75 - (6,75 - 1,75)\} \cdot 0,086 \cdot 1,47 = 2,12 \text{ кг/м}^3$ . Через те що розчинність фосфогіпсу і гіпсу в зрошувальній воді менше  $2 \text{ г/л}$  або  $\text{кг/м}^3$ , то частину його необхідно вносити в ґрунт. При внесенні фосфогіпсу в ґрунт, який поливають середньою зрошувальною нормою  $2000 \text{ м}^3/\text{га}$  на рік, доза його становитиме

$$N_2 = 2,12 \cdot 2000 = 4235 \text{ кг/га на рік, або } 4,2 \text{ т/га.}$$

**Насичення природної води кальцієвими солями фосфогіпсу з одночасним підкисленням сірчаною кислотою.** Насичення поливної води кальцієвими солями з одночасною нейтралізацією лужності сірчаною кислотою необхідно проводити тоді, коли величина водневого показника рН у вихідному складі води більше  $8,5$ , вміст натрію перевищує  $322 \text{ мг/дм}^3$  ( $14 \text{ мекв/дм}^3$ ), а відношення вмісту натрію до вмісту кальцію більше  $3,6$ .

При насиченні природної води кальцієвими солями фосфогіпсу з одночасним підкисленням сірчаною кислотою відбуваються ті самі процеси, що й при насиченні кальцієвими солями фосфогіпсу, але значно інтенсивніше, чому сприяє внесена доза сірчаної кислоти. Так, внесення в меліоровану фосфогіпсом воду  $18,3 \text{ г/м}^3$  сірчаної кислоти в перші дві години насичення підвищує концентрацію кальцію на  $0,6-1,5 \text{ мекв/дм}^3$ , порівняно з варіантом без внесення кислоти, що складає  $8,7-13,6 \%$ . При цьому, співвідношення  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$  зменшувалося на  $0,07-0,12$  од., величина водневого показника рН –  $0,38-0,85$ , а загальна мінералізація зростала на  $30-70 \text{ мг/дм}^3$  (табл. 1.27).

Збільшення дози сірчаної кислоти в  $1,5$  та  $2,0$  рази ( $27,4$  та  $36,6 \text{ г/м}^3$ ) при рівних дозах фосфогіпсу збільшує його розчинність та вміст кальцію в меліорованій воді на  $20,7-28,9$  та  $27,9-37,9 \%$ , відповідно. При цьому, відношення  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$  знижується на  $0,15-0,22$  од. та  $0,20-0,35$  од. Загальна мінералізація зростає на  $120-220 \text{ мг/дм}^3$  порівняно з варіантом без внесення сірчаної кислоти.

**Таблиця 1.27 – Зміна основних показників меліорованої води (мг/дм<sup>3</sup>) залежно від доз хімічних меліорантів (Лозовіцький П.С. 2014)**

Доза фосфогіпсу, кг/м <sup>3</sup>	Мінералізація, мг/дм <sup>3</sup>	pH	SO <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ca
Без кислоти					
0	1410	8,60	204,5	0,5	60
0,6	1620	8,30	367,7	1,2	126
1,0	1810	8,10	473,3	2,4	172
2,0	2040	7,60	646,1	5,2	244
3,0	2180	7,50	732,5	6,2	280
18,3 г/м <sup>3</sup> – H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>					
0	1400	7,80	204,5	0,3	60
0,6	1690	7,50	411,1	2,1	144
1,0	1840	7,40	502,1	4,3	184
2,0	2100	7,22	684,5	8,9	260
3,0	2260	7,08	804,5	9,6	310
36,6 г/м <sup>3</sup> – H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>					
0	1400	7,45	204,5	0,3	60
0,6	1740	7,20	433,7	2,8	158
1,0	1900	7,01	550,1	5,0	204
1,8	2150	6,87	732,5	9,7	280
3,0	2400	6,70	905,3	12,2	352

Застосування одночасно двох методів підготовки природної води сприяє підвищенню інтенсивності процесу розчинності та підвищенню коефіцієнта використання меліорантів. Основна маса фосфогіпсу розчиняється в підкисленій воді протягом перших двох годин. При витримуванні меліорантів у воді протягом 24 год концентрація кальцію зростає ще на 2,0–2,5 мекв/дм<sup>3</sup>, або на 40–50 мг/дм<sup>3</sup>. Чим вищі дози меліорантів, тим значніше зростання концентрації сульфат-іонів та зниження величини рН.

Одночасне внесення хімічних меліорантів у поливну воду миттєво та істотно (на 1,0–1,9 од.) зменшує величину водневого показника рН, при цьому повністю зникає карбонат-іон і зменшується вміст гідрокарбонат-іонів.

Одночасне внесення сірчаної кислоти й фосфогіпсу в природну воду сприяє збільшенню вмісту сполук фосфору в 1,5–2,0 рази порівняно з варіантом без внесення сірчаної кислоти. При дозах фосфогіпсу 3 г/дм<sup>3</sup>, сірчаної кислоти 36,6 г/м<sup>3</sup> вміст P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> у меліорованій воді досягає величини 12,2 мг/дм<sup>3</sup> (табл. 1.27). Така концентрація P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> у поливній воді не є загрозою для сільськогосподарських рослин, а є розчинним мінеральним добривом, яке може легко засвоїтися ними.

Отже, одночасне внесення в природну воду фосфогіпсу й сірчаної кислоти підвищує розчинність фосфогіпсу, що сприяє збільшенню концентрації кальцію, суттєво знижує величину рН, покращує іригаційні показники й підвищує ефективність використання фосфогіпсу.

### 1.10.3. Критерії оцінки і вибір методів меліорації води перед поливами

Якість природної води й придатність її для зрошення необхідно оцінювати за гранично допустимими концентраціями розчинених у воді хімічних речовин, радіонуклідів, важких металів, залишків пестицидів, біогенних та інших специфічних речовин. За умови придатності води для зрошення за токсикологічними показниками основними іригаційними показниками є: граничні рівні загальної мінералізації, величина водневого показника рН, вміст і співвідношення катіонів.

Іригаційні критерії оцінки якості води в природних джерелах зрошення базуються на визначенні в її хімічному складі найбільш важливих хімічних речовин:  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ .

Якість води природних джерел зрошення контролюють у місцях головних водозаборів перед подачею в зрошувальну мережу та в місцях розбору водокористувачами після її підготовки.

Відповідно до іригаційної класифікації, поданої у п. 1.8, та хімічного аналізу природної води в джерелі зрошення визначається клас необхідної підготовки.

При визначенні придатності води для зрошення на основі хімічного аналізу проводять її оцінку з урахуванням можливості осолонцювання ґрунтів і визначають потребу в її хімічній меліорації. Якщо співвідношення  $\text{Na}^+$  і  $\text{Ca}^{2+}$  не більше одиниці чи співвідношення  $\text{Na}^+$  і  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  не більше 0,7, то вода придатна для зрошення. Якщо дані показники вищі від вказаних меж, її необхідно гіпсувати і розбавляти прісною водою (Буданов М.Ф. 1970). Ця робота і дотепер не втратила своєї актуальності, а запропоновані автором методи іригаційної оцінки якості води за можливістю натрієвого осолонцювання ґрунтів (співвідношення вмісту натрію і кальцію та співвідношення вмісту натрію і суми кальцію та магнію) і нині є одним з кращих і найбільш придатних для умов півдня України.

Оцінку якості поливної води за загрозою натрієвого осолонцювання ґрунтів визначають за методом М. Буданова по співвідношенню катіонів  $\text{Na}^+ / \text{Ca}^{2+}$

$$\text{Na}^+ / \text{Ca}^{2+} \leq 1, \quad (1.35)$$

де  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  – катіони поливної води, мекв/дм<sup>3</sup>.

Якщо одержані відношення перевищують 1, але менші 6, то поливну воду необхідно насичувати кальцієвими солями. При відношенні більше 6, вмісті  $\text{SO}_4^{2-}$  понад 20 мекв/дм<sup>3</sup> вирівняти вміст катіонів у меліорованій воді практично неможливо.

Оцінку якості поливної води за загрозою магнієвого осолонцювання ґрунтів визначають за методом *Сабольча й Дараби*

$$P_{\text{Mg}} = \frac{\text{Mg}^{2+}}{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}} \cdot 100\%, \quad (1.36)$$

де  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  – катіони поливної води, мекв/дм<sup>3</sup>.



Уміст магнію в поливній воді має бути меншим 50 % від суми кальцію та магнію.

Розрахунок необхідної кількості меліоранту для поліпшення якості води проводять за формулою

$$H = \frac{(A - B)K}{X} 100, \quad (1.37)$$

де  $H$  – норма гіпсу, г/дм<sup>3</sup>, т/м<sup>3</sup>;

$A$  – вміст натрію у воді, мекв/дм<sup>3</sup>;

$B$  – вміст кальцію у воді, мекв/дм<sup>3</sup>;

$K$  – міліеквівалентний коефіцієнт гіпсу, 0,086;

$X$  – вміст CaSO<sub>4</sub> 2H<sub>2</sub>O в меліоранті, %.

Якщо воду застосовують для зрошення солонцюватих ґрунтів, то насичення її кальцієвими солями необхідно виконувати з урахуванням потреби відновлення їх родючості.

Для типових солонців нейтрального засолення потреба в гіпсі (фосфогіпсі) становить:

$$H = 0,086(Na^+ - 0,1E) \cdot h \cdot \gamma, \quad (1.38)$$

де  $H$  – потреба в гіпсі, т/га;

$Na^+$  – вміст поглинутого натрію, мекв/100 г ґрунту ( для чорноземів південних необхідно брати  $0,05 \cdot E$ , для темно-каштанових ґрунтів –  $0,03 \cdot E$ );

$h$  – глибина солонцюватого горизонту, см;

$\gamma$  – щільність ґрунту, г/см<sup>3</sup>.

Для типових солонців содового засолення потреба в меліоранті становить:

$$H = 0,086[(Na^+ - 0,05E) + (S - M)] \cdot h \cdot \gamma, \quad (1.39)$$

де  $S$  – вміст (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> – HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) у водній витяжці з ґрунту, мекв/100 г ґрунту;

$M$  – вміст (Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup>) у водній витяжці ґрунту, мекв/100 г ґрунту.

Для солонців із високим вмістом поглинутого магнію (25–30 %) від ємності поглинутих основ потреба в меліоранті становить:

$$H = 0,086[(Na^+ - 0,05E) + (Mg^{2+} - 0,3E)] \cdot h \cdot \gamma, \quad (1.40)$$

де Mg<sup>2+</sup> – вміст поглинутого магнію, мекв на 100 г ґрунту.

Перерахунок норми гіпсу (фосфогіпсу) для меліорації солонцюватих ґрунтів, у норму гіпсу необхідного для насичення поливної води з наступним відновленням родючості ґрунтів, треба вести за формулою

$$D = \frac{H}{Q}, \quad (1.41)$$

де  $D$  – норма гіпсу (фосфогіпсу) для насичення поливної води з урахуванням типу солонцюватих ґрунтів, кг/м<sup>3</sup>;

$H$  – норма гіпсу (фосфогіпсу), розрахована за однією із запропонованих формул, яка враховує тип солонцюватих ґрунтів, кг/га;

$Q$  – зрошувальна норма, м<sup>3</sup>/га.

## 1.11. Зрошення дренажно-скидними водами

Об'єм дренажно-скидних вод, що надходить до колекторної мережі з гідромеліоративних систем в Україні, становить десятки мільйонів метрів кубічних. Ці води мають відносно високу мінералізацію (2–7 г/дм<sup>3</sup>), і до їх складу входять корисні для рослин мікроелементи, розчинені добрива, кількість яких у 2–5 разів більша, ніж у природних поверхневих водах.

Допустимість використання колекторно-дренажних вод на зрошення залежить від їх якості. За відсутності у воді токсичних солей і агрохімікатів дренажні води можна подавати в зрошувальну мережу. Найчастіше така можливість виникає при відкачуванні підземних вод вертикальним дренажем. Крім того, колекторно-дренажні води можуть містити елементи мінерального живлення рослин і корисні мікроелементи в кількості, яка перевищує їх вміст у природній воді, що потрапили в підземні води під час неправильного зберігання добрив і внесення їх надлишкових доз. Такі води мають удобрювальну цінність. Однак у цих самих водах часто зустрічаються токсичні речовини – пестициди, що вимиваються з ґрунту інфільтраційними водами.

Горизонтальний дренаж, що працює на засолених землях, відводить воду високої мінералізації, яку можна тільки додавати до зрошувальної води, визначаючи необхідне співвідношення мінералізованої і прісної води за вмістом іонів, що найбільш перевищує ГДК. Залежно від гранулометричного складу ґрунтів для зрошення використовують саме колекторно-дренажні води (при їх мінералізації менше 5–6 г/дм<sup>3</sup>) або розбавляють їх річковою водою. За більш високої мінералізації ці води застосовують для промивання засолених земель, а також для поливів солестійких рослин-галофітів, які вирощують для закріплення рухомих пісків і які використовують як прикореневі добавки.

Колекторно-дренажні води є супутнім побічним продуктом зрошувального землеробства, можуть слугувати і додатковим резервом для використання як джерела зрошення солестійких сільськогосподарських культур, так і водних об'єктів для підтримання біологічного різноманіття, рибного промислу і полювання, для рекреаційних потреб під час відпочинку людей та інших господарських потреб.

Про забрудненість колекторно-дренажних вод залишками мінеральних добрив і отрутохімікатів, які використовуються в аграрному виробництві, істотно обмежує можливість повторного їх використання. Збір, транспортування і відведення дренажних вод пов'язані з величезними витратами матеріальних засобів.

Формування величезного обсягу колекторно-дренажного стоку в сучасних умовах в основному пов'язано з низькою ефективністю використовуваних способів і техніки поливу, технологій зрошення сільськогосподарських культур. Згідно з науковими рекомендаціями, при високотехнологічному веденні зрошувального землеробства обсяг формованого дренажного стоку не повинен перевищувати 10 % обсягу води, що подається на поля зрошення. Однак через величезні непродуктивні втрати зрошувальної води частка колекторно-дренажних вод від обсягу стоку, що подається на зрошення, становить 20–55 %.

Якщо врахувати, що не вся зрошувана територія забезпечена колекторно-дренажною мережею (особливо в гірських областях, де в основному функціонує так званий «сухий дренаж»), то очевидним є факт величезних витрат води на кожен зрошуваний гектар і значні питомі величини дренажного стоку. Це є нерациональне використання річкових вод та переведення їх із якісних в розряд антропогенно забруднених вод.

Питання про зрошення дренажно-скидними водами є першорядними, як і їх утилізація та збереження природних поверхневих вод від забруднення продуктами виносу біогенних речовин із зрошуваних і дренажних полів.

Особливо великі запаси невикористаних слабомінералізованих дренажно-скидних вод є в районах рисівництва, де їх можна повторно використовувати для зрошення рису, багаторічних трав та інших культур. Проте повторне використання відпрацьованих вод рисових полів є можливим при мінералізації їх не більше 5–6 г/дм<sup>3</sup>.

Для зрошення можна використовувати воду підвищеної мінералізації за наявності дренажу на поливних землях і підвищених (на 20–30 %) зрошувальних норм, що забезпечують промивний режим. При тривалому зрошенні водами підвищеної мінералізації можливе засолення і осолонцювання ґрунтів, тому необхідно систематично стежити за вмістом солей у ґрунті і вжити відповідних заходів до попередження негативних явищ.

Представлені результати виробничих дослідів (тривалістю 5 років) по встановленню можливого використання колекторно-дренажних вод для зрошення сільськогосподарських культур в умовах Муганського степу Азербайджану (*Гасанов С.Т., Искандеров М.Я., 2016*). Сільськогосподарські культури – бавовник, одно- і дворічна люцерна, ячмінь і пшениця озимі, які вирощують у бавовниковій сівозміні, зрошували колекторно-дренажною водою, нею ж, змішаною з прісною, і прісною водою (контроль) з мінералізацією 12–14, 8–9, 6–7, 4–5 і 0,5–0,6 г/дм<sup>3</sup>. Вивчено зміну сольового режиму ґрунту та врожайності культур залежно від мінералізації поливних вод.

Встановлено, що на інтенсивно дренажних і незасолених ґрунтах з високими фільтраційними властивостями при зрошенні колекторно-дренажною водою з мінералізацією 6–14 г/дм<sup>3</sup> відбувалося соленакопичення в ґрунтовому профілі. При цьому засолення ґрунту за величиною щільного залишку і вмісту хлору виходило за межі порога токсичності, але хлор легко видалявся з ґрунту вологозарядковим поливом.

Зрошення водою з мінералізацією 6–14 г/дм<sup>3</sup> практично не впливає на врожайність пшениці і ячменю озимих, але істотно впливає на врожайність однорічної люцерни і бавовнику. Урожайність всіх випробовуваних культур, за винятком однорічної люцерни, при зрошенні колекторно-дренажною водою з мінералізацією менше 5 г/дм<sup>3</sup> не знижувалася. Це пояснюється наявністю в колекторно-дренажній воді поживних елементів. При зрошенні водою з мінералізацією менше 7 г/дм<sup>3</sup> урожайність однорічної люцерни знижувалася в 2–5 разів, урожайність дворічної люцерни і бавовнику – приблизно в 1,4 рази. При мінералізації поливної води більше 9 г/дм<sup>3</sup>, за винятком зернових, різко знижувалася врожайність бавовнику, одно- і дворічної люцерни.

За результатами проведених дослідів дійшли висновку, що колекторно-дренажна вода з мінералізацією менше  $5 \text{ г/дм}^3$ , за певного обґрунтування, може бути використана для зрошення сільськогосподарських культур у чистому вигляді, при мінералізації води  $6\text{--}7 \text{ г/дм}^3$  поливи колекторно-дренажною водою мають чергуватися з поливами прісною водою, а при мінералізації води більше  $7 \text{ г/дм}^3$  її необхідно розбавляти прісною водою до допустимого рівня (Гасанов С.Т., Искандеров М.Я., 2016).

Для більш безпечного застосування дренажно-скидних вод необхідно вжити заходів до опріснення мінералізованих вод, які зазначені в п. 1.9.

Науково-технічне обґрунтування та практичне використання дренажно-скидних вод на зрошуваних масивах півдня України висвітлено в роботах В.О. Ушкаренка, Б.А. Тупіцина, В.Т. Асатрян, Д.П. Савчука, В.В. Колесникова, В.В. Морозова, В.Г. Корнбергера, Л.М. Грановської, О.В. Морозова, К.В. Дудченко та ін. Ці дослідження були проведені як на звичайних, так і на рисових зрошувальних системах в умовах Північно-Кримського, Краснознам'янського та Інгулецького зрошуваних масивів. Формування якості поливної води Інгулецької зрошувальної системи та спрямованість при цьому ґрунтових процесів досліджувалися Б.А. Тупіциним, О.П. Сафоною, П.С. Лозовіцьким, В.В. Морозовим, О.В. Морозовим, Є.В. Козленком, Є.В. Волочнюком, В.М. Нежлукченко, І.О. Бідиною та іншими вітчизняними вченими.

## 1.12. Поливи морськими водами

В умовах дефіциту водних ресурсів виникає питання про пошук альтернативних джерел води. Більша частина води на земній кулі знаходиться в океанах і морях. Середня мінералізація Світового океану складає  $34,4 \text{ г/л}$ , Чорного моря –  $18,6 \text{ г/л}$ , Каспійського –  $12,8 \text{ г/л}$ , Азовського –  $12,4 \text{ г/л}$ . Солоність морської води поблизу гирл впадіння в моря великих річок знижується через приплив прісних річкових вод.

Морська вода, якщо її розглядати як зрошувальну, відрізняється від мінералізованих дренажних та ґрунтових вод певними властивостями. Вона вміщує значно більшу кількість елементів, що корисні рослинам, мікроелементів та органічних речовин, які підвищують родючість ґрунту, багата киснем. Але головна особливість морських вод, яка визначає їх зрошувальні властивості, полягає в тому, що іонний склад у ній збалансований та шкідлива дія одних іонів врівноважується присутністю інших. Це явище називається антагонізмом іонів.

До складу морських вод входять  $\text{Na}$ ,  $\text{K}$ ,  $\text{Ca}$ ,  $\text{Mg}$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{Br}$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{I}$ ,  $\text{CO}_3$ , більш за все в них іонів хлору та натрію. Морську воду можна використовувати для поливу плодкових культур, лісових смуг, декоративних дерев та кущів, зернових культур, багаторічних трав у приморських зонах. При цьому зрошення доцільно проводити на піщаних ґрунтах, в яких при промивному режимі поливу не накопичується багато солей. Крім того, піски добре промиваються атмосферними опадами в холодну пору року і не потребують додаткових заходів щодо їх промивання.

Найбільш ефективний полив морською водою при використанні поверхневого способу поливу. При цьому зернові культури та багаторічні трави поливають по смугах, а дерева та кущі – по пристовбурних чашах.

Дощування морською водою не знайшло застосування через обпалення листя рослин при зрошуванні.

У більшості випадків зрошення морською водою може бути єдиним виправданим прийомом використання для сільськогосподарських потреб неродючих приморських територій. Морські води на суглинистих та глинистих ґрунтах використовувати заборонено, через високу їх мінералізацією і погану водопроникність ґрунтів. У зв'язку з цим морську воду можна застосовувати в більшості випадків після опріснення і зниження концентрації основних іонів до безпечних величин.

## 1.13. Зрошення водою у зміненому стані

Вода, яка підлягала впливу магнітного поля, заморожуванню-розморожуванню, дегазації тощо, набуває особливих властивостей, які по-різному впливають на врожай, термін досягання сільськогосподарських культур і на родючість ґрунту.

**Полив розчинами морської піни (шуму).** На практиці давно була відмічена така особливість, що риби, наприклад, намагаються жити у верхніх шарах морської води, а рослини – в зоні морського прибою розвиваються краще, ніж у віддалені від нього. Доведено, що причина цьому – морська піна, в якій є підвищений вміст органічних речовин та металів.

Піна – дисперсна система з газовою дисперсною фазою і рідким або твердим дисперсійним середовищем. Піна, на відміну від інших дисперсних систем, склад яких визначається концентрацією дисперсної фази, характеризується вмістом дисперсійного середовища.

Піна є вкрай нестійкою дисперсною системою, тому що щільність рідини в сотні і навіть тисячі разів перевищує щільність газу, з якого формуються бульбашки піни. Піну вважають грубо дисперсною системою: в момент піноутворення неозброєним оком можна спостерігати бульбашки піни. Маса і об'єм газової дисперсної фази непостійні і швидко змінюються, розміри бульбашок значно різняться, тому піну можна вважати полідисперсною системою.

Піна, як дисперсна система, має свої особливості, які визначаються властивостями дисперсної фази, дисперсійного середовища і межами поділу фаз між ними, а саме: зміною енергії *Гіббса*, міжфазним поверхневим натягом, формою бульбашок (сферична, полідрічна).

Перші досліді з використання розчинів морської піни для поливу проведені в Прибалтиці в рамках операції «Прибой». Було побудовано спеціальне судно для збирання морської піни. Для зрошення овочів готували розчин морської піни з концентрацією 1:5000. Урожайність, одержана в прибережній зоні, вдвічі вища, ніж за умови поливу звичайною водою.

Окремі досліді були проведені в Україні (м. Одеса), однак широкого застосування такі поливи не знайшли через велику нестабільність морської піни та обмеженість її природного утворення.

**Полив намагніченою водою.** Ця проблема не нова, але й досі не вирішена. Під час пропускання звичайної прісної води через феромагнітне або електричне поле деякої напруженості вона на короткий час (8–10 год) одержує певні властивості, що поки неможливо пояснити науково.

Так, у 1936 році бельгійський інженер Т.С. Вермейрен виявив, що під дією магнітного поля проявляються нові аномальні властивості води: при нагріванні намагніченої рідини на теплообмінній поверхні не утворюється накип. У спробах наукового світу пояснити цей феномен виникло 4 типи теорій: колоїдна, іонна, водна і динамічна.

Згідно з *колоїдною теорією*, магнітне поле, діючи на воду, може руйнувати колоїдні частинки (дрібні забруднення розміром до 0,1 мкм), які в ній присутні. Таким чином, бруд не осідає на стінках ємкостей, а легко виводиться у вигляді шламу.

У рамках *іонної теорії* аномальні властивості води через вплив магнітного поля пояснюються процесами поляризації та деформації іонів солей. Іони зближуються і утворюють кристалічну форму солі, завдяки чому замість накипу з'являється тонкодисперсний шлам, який не осідає.

Прихильники *водної теорії* говорять про вплив магнітного поля на сполуки молекул води – асоціати, які через деформацію зв'язків перерозподіляються у впорядковану структуру, що викликає зміну фізико-хімічних характеристик води.

Але найбільшу популярність з-поміж теорій, що пояснюють аномальні властивості води, здобула *динамічна*. В її основі лежить така гіпотеза: з молекулярно-кінетичної точки зору потік води – це трансляційний рух іонів та молекул у напрямку прикладеної сили. Рідина – це механічна система, складові якої, іони та молекули, знаходяться в тепловому русі. Сила *Лоренца* діє на заряджені домішки, що рухаються в потоці води під дією магнітного поля, і закручує їх навколо магнітних ліній. Всю масу нейтральних молекул води одночасно «тягне» множина низькомолекулярних катіонів та аніонів завдяки енергії електричного поля, а магнітне поле виконує керівні функції. Таким чином, за рахунок ефекту *Холла* суттєву роль відіграють електричні поля, викликані електричним зарядом поверхні поділу фаз та сумарним об'ємним зарядом іонів. Жодна з цих теорій так і не здобула абсолютного підтвердження та визнання. Пошуки істини продовжуються і надалі, але аномальні властивості води, які виникають під дією магнітного поля – це безперечний факт, який просто необхідно обґрунтувати.

Цю біостимулювальну властивість намагніченої води широко застосовують у медицині (боротьба з гіпертонією), у ветеринарії (лікування тварин), у рослинництві (передпосівний обробіток насіння), в будівництві (замішування бетону) і т. ін.

Досліді, проведені у різний час і в різних країнах показали, що при обробці поливної води в магнітному полі і використанні її для поливу врожайність

сільськогосподарських культур підвищувалася на 15–50 % порівняно з варіантами, де поливи проводили звичайною водою. При цьому тривалість вегетаційного періоду в більшості сільськогосподарських культур скорочувалась на 10–14 діб. Спосіб поливу можна застосовувати будь-який із існуючих.

**Полив свіжорозталою водою.** Свіжорозтала вода характеризується особливими біологічними властивостями, що при використанні її для зрошення сприяє інтенсивному росту сільськогосподарських культур та підвищенню врожайності на 12–35 %.

Уперше про феномен талої води стало відомо після серій наукових досліджень японських учених, які заморожували воду і вивчали її кристали під мікроскопом. Вони встановили, що тала вода має впорядковану структуру, а розмір молекули стає трохи менше розміру клітинних мембран.

Кристалізуючись, вода стає чистішою, а всі шкідливі сполуки виштовхуються в не замерзлий ще простір.

Таким чином, застосовуючи талу воду, можна відновити енергію, прискорити зростання рослин, а також налагодити обмін речовин не тільки в рослинах, а й в організмі людини.

У талій воді було відзначено відсутність дейтерію, зниження концентрації солей та її діелектричної проникності, а також зменшення інших домішок.

За даними одних вчених свої цілющі властивості тала вода зберігає протягом 800 с (13,5 хв), за даними – інших 6–8 год після розморожування, потім у води настає звичайний стан.

Тала, біологічно активна вода позитивно впливає на швидкість проростання насіння, забезпечуючи дружні сходи і міцні паростки. Рослини, які поливають талою водою, дають більший урожай порівняно з іншими рослинами, що були политі звичайною водою. Рослини стають стійкими до шкідників і хвороб.

Земля при поливі талою водою залишається пухкою і не покривається кіркою. У минулому столітті були проведені експерименти зі створенням спеціальних поливних установок, в яких процес заморожування-розморожування зрошувальної води відбувався під час самого поливу за допомогою спеціального обладнання.

У сучасних умовах поливи талою водою не знайшли широкого застосування через відсутність відносно дешевих способів заморожування і розморожування води.

**Полив дегазованою водою.** Дегазована вода – це вода з якої видалений розчинений в ній газ (повітря). Найпростіший спосіб дегазації води – кип'ятіння і швидке охолодження, тому дегазовану воду іноді називають «холодний окріп». Фахівці експериментально встановили, що така вода прискорює цілий ряд фізико-хімічних процесів, наприклад підвищує міцність бетону до 20 %. Свої властивості дегазована вода поступово втрачає, насичуючись повітрям, тому її необхідно використати протягом 3–4 годин.

Алма-Атинськими вченими братами *І.Д.* та *В.Д. Зеленухініми* ще в 1972 році було встановлено, що дегазована вода має підвищену біологічну активність, сприяє покращенню росту рослин і активізує багато фізико-хімічних

процесів, у тому числі розчинність солей. Поставивши безліч експериментів з тваринами і рослинами, вони довели ефективність її використання в сільському господарстві. Замоочування в дегазованій воді насіння, полив і обприскування рослин підвищують урожайність у порівнянні з контрольними: пшениці – до 25 %, бавовнику – на 10 %, цукрових буряків – майже на третину, до того ж такі рослини відрізняються від контрольних і за іншими ознаками. Так, у експериментальної пшениці зерна набагато більші, ніж у простій. Волокно бавовнику під впливом дегазованої води стає міцнішим, щеплені плодові дерева за ступенем розвитку випереджають рослини, які оброблені регулятором росту – гетероауксином.

«Холодний окріп» діє як стимулятор росту і підвищує врожайність рослин, порівняно з певною кількістю відомих стимуляторів має переваги. Він нетоксичний, екологічно чистий, доступний, простий у виготовленні. Біологічну активність така вода зберігає кілька годин, до того часу, доти у воді знову не розчиняться гази. Доведено, що біологічно активна вода краще засвоюється рослинами, стимулює їх фізіологічні процеси (дихання, фотосинтез, водообмін, зростання), тому що вона легше проникає через мембрани клітин, і її поглинання тканиною рослин зростає в кілька разів.

Проте біологічно активна вода не може замінити звичайну: постійно поливати нею рослини не можна, краще тільки замочити насіння, а поливати не більше 2–3 разів за період вегетації.

Дегазацію води можна провести й іншими способами. Так, ще в 1825 році французький хімік *Жан Батист Дюма (Dumas)* запропонував спосіб дегазації води вакуумуванням. Дегазують воду також за допомогою ультразвуку. На п'єзовипромінювач встановлюють плоско паралельну посудину, дно якої змащують вазеліном або трансформаторним мастилом для кращого акустичного контакту. У посудину наливають воду і пропускають через неї ультразвук. При цьому утворюються бульбашки газу, які, спливаючи, випаровуються. Застосовується для дегазації і спосіб, коли газ виділяється з води під дією відцентрової сили. Успішні результати пробних дослідів із зрошення овочів у теплицях дегазованою водою були отримані науковцями кафедри хімії Національного університету водного господарства і природокористування (м. Рівне). Результати дослідів дозволяють зробити висновок про перспективність цих розробок у зрошувальній меліорації.

**Поливи структурованою водою.** Структурована вода – цей термін найчастіше зустрічається в текстах з нетрадиційної медицини і езотерики, який використовують для позначення якоїсь «води зі зміненою щодо рівноваги до навколишнього середовища структурою». Найчастіше структурована вода пропонується як «чудодійні ліки», здатних нібито лікувати захворювання, які визнаються невиліковними традиційною медициною.

Науково доведено лише існування ефекту впорядкування молекул води при адсорбції молекул води на поверхнях, що мають специфічне чергування додатних і від'ємних заряджених груп атомів, а також при розчиненні деяких полімерів, зокрема білкових макромолекул, що використовується для опису деяких властивостей клітинної рідини. Таке впорядкування не є ні повним по



всьому об'єму рідини, ні стабільним у часі. Структура руйнується протягом не тривалого часу самостійно внаслідок теплового руху молекул води і повністю руйнується при внесенні збудження в структуроване середовище (наприклад, при перемішуванні). Повне впорядкування води в стабільну структуру (виникнення далекого порядку) відбувається при її замерзанні. Така структура майже повністю руйнується при розморожуванні. Також є дані про те, що при відтаванні замерзлої води в рідкій фазі зберігаються невеликі групи молекул з «ближнім порядком», що нагадує порядок молекул льоду. Це підтверджується рентгеноструктурним аналізом, але при нагріванні до 30 °С (наприклад, якщо її випити) вода стає повністю аморфною.

Було проведено ряд досліджень щодо виявлення впливу структурованої води на сільськогосподарські культури. Відмочене в структурованій воді насіння швидше дає ростки і сходить, а врожай при постійному поливі структурованою водою вище на 30 %.

Структурована вода запобігає утворенню плівки бульбашок і твердих солей на коренях рослин, а це сприяє кращому засвоєнню мінеральних речовин коренями рослин.

Рослини, оброблені активованою водою, мають підвищену життєстійкість, менше пошкоджуються хворобами. Іонізована вода вельми корисна при вирощуванні розсади, якщо поставити дві культури поряд і одну поливати звичайною, а іншу структурованою водою, то помітна різниця: схожість насіння від структурованої води вище, дружніше і помітно міцніше. Рослини чутливіші на удобрення. При поливі рослин такою водою поліпшується перехід азоту, калію, фосфору та інших речовин у стан більш доступний для засвоєння рослинами.

Однак, нині поливи структурованою водою широко не застосовуються, тому що природа її до кінця ще науково не обґрунтована і не доказана.

### **Запитання для самоконтролю**

1. За якими критеріями визначають якість води для зрошення?
2. За агрономічними критеріями визначають якість води для зрошення за її впливом на...
3. Які іони визначають якість зрошувальної води за агрономічними критеріями?
4. Яка різниця між карбонатами і гідрокарбонатами?
5. Який із аніонів найбільш токсичний для рослин, а який самий нейтральний?
6. Який із карбонатів більш нейтральний, а який самий токсичний?
7. Який із катіонів може викликати осолонцювання ґрунту?
8. Які із катіонів належать до групи лужних металів?
9. Яким чином вміст іонів у воді в  $\text{мг/дм}^3$  можна перерахувати в  $\text{мекв/дм}^3$ ?
10. Яке співвідношення аніонів і катіонів має витримуватись у воді?
11. Що називають %-еквіваленти і як їх розраховують?
12. Яким чином встановлюють хімічний тип зрошувальної води?
13. За яких критеріїв зрошувальну воду характеризують як содову?
14. За яких умов ураховують осолонцюючу дію магнію?
15. Яким чином визначають вміст солей у зрошувальній воді в еквівалентах хлору?
16. Для чого виконують зв'язування солей у зрошувальній воді у гіпотетичні солі?
17. Що являє собою вміст лужності від нормальних карбонатів?
18. Яким чином ураховують вміст загальності лужності?
19. Як розраховують вміст токсичної лужності у зрошувальній воді?

20. Яким чином обчислюють вміст токсичних солей в еквівалентах хлору?
21. Яким чином оцінюють якість зрошувальної води за небезпекою вторинного засолення ґрунту?
22. Яким чином ураховують гранулометричний склад ґрунту при оцінці води за небезпекою його вторинного засолення?
23. За якими показниками встановлюють назву ґрунту при гранулометричному складі?
24. Яким чином оцінюють якість зрошувальної води за небезпекою підлугування?
25. Яким чином поділяють групи ґрунту за реакцією середовища?
26. Яким чином оцінюють якість зрошувальної води за небезпекою її токсичного впливу на рослини?
27. Чому токсичний вплив на рослини зрошувальної води сильніший у спекотну денну пору, ніж вночі?
28. За якими показниками оцінюють якість зрошувальної води за небезпекою осолонцювання?
29. Що собою являє протисолонцююча буферність ґрунту?
30. Яким чином оцінюють якість зрошувальної води за небезпекою осолонцювання за методом Айдарова – Голованова?
31. У чому сутність методу Стеблера при оцінці якості води за небезпекою осолонцювання ґрунту?
32. Як оцінюють якість зрошувальної води за небезпекою осолонцювання за методом Антипова – Катаєва?
33. Що таке показник SAR при оцінці якості зрошувальної води?
34. Що таке термодинамічні показники якості зрошувальної води?
35. Яким чином перераховують вміст солей у зрошувальній воді в моль/дм<sup>3</sup>?
36. Від чого залежить величина активності іонів у воді?
37. Яким чином оцінюють зрошувальну воду за термодинамічними показниками?
38. Який оптимальний температурний режим зрошувальної води?
39. Для чого і як розбавляють мінералізовані зрошувальні води прісними?
40. Чому є низьким ефект від розбавлення мінералізованих прісних вод?
41. Для чого і коли здійснюють кислування зрошувальних вод?
42. У чому сутність застосування кальцієвих меліорантів для покращення якості води?
43. У якому випадку враховують іони магнію у зрошувальній воді, розраховуючи кальцієві меліоранти для покращення якості води?
44. Яким чином ураховують дозу кальцієвих меліорантів при внесенні їх до ґрунту?
45. Які способи опріснення мінералізованих вод існують? Чому їх широко не застосовують в сучасних умовах?
46. У чому сутність дистиляції при опрісненні мінералізованих вод?
47. Яким чином працює технологія виморожування солі при зниженні мінералізації води?
48. Як знижують мінералізацію зрошувальної води за рахунок іонного обміну?
49. Який процес зміни концентрації солей називають електродіаліз?
50. У чому полягає сутність зниження концентрації солей при прямому і зворотному осмосі?
51. Чому постає питання зрошення дренажно-сکیدними водами?
52. За яких умов безпечно поливати дренажно-сکیدними водами?
53. Чому постає питання про зрошення морськими водами і за яких умов можна успішно ними поливати?
54. Які води можна називати водами у зміненому стані?
55. Яким чином можна одержати прибавку при зрошенні розчинами морської піни?
56. Який ефект від зрошення намагніченою водою?
57. Що таке свіжорозтала вода і як вона впливає на рослини?
58. Яким чином можна одержати дегазовану воду?
59. Яким чином впливає дегазована вода на рослини?
60. У чому полягає сутність одержання структурованої води?
61. Як впливає структурована вода на ріст і розвиток рослин?

## 2. ЕКОЛОГІЧНІ КРИТЕРІЇ ЯКОСТІ ЗРОШУВАЛЬНОЇ ВОДИ

За екологічними критеріями, згідно з ДСТУ 7286, встановлюють якість води для зрошення з урахуванням необхідності забезпечення безпечного санітарно-гігієнічного стану та охорони навколишнього природного середовища від забруднення.

Оцінку якості води для зрошення за екологічними критеріями проводять для попередження можливого негативного впливу на компоненти природного середовища та здоров'я населення. Вплив може проявлятися у зміні:

- стійкості ґрунтових систем, у тому числі характеристик родючості ґрунтів та їх відповідності санітарно-гігієнічним вимогам;
- санітарно-гігієнічного стану та харчової якості сільськогосподарської продукції рослинництва і тваринництва;
- характеристик гідрохімічного та санітарно-гігієнічного стану поверхневих та підземних вод.

Нормування показників якості води для зрошення за екологічними критеріями виконують в умовах, коли рівень ґрунтових вод не перевищує критичного рівня при рекомендованих режимах зрошення.

Критичний рівень ґрунтових вод – це рівень ґрунтових вод, вище якого відбувається або посилюється деградація ґрунтів (засолення, підлугування, осолонцювання, злитизація) з негативним впливом на розвиток сільськогосподарських культур.

Негативний вплив забруднюючих речовин у зрошувальній воді може проявлятися по-різному. При цьому виділяють чотири напрями впливу:

- 1) **фітотоксичний** (ФТ) – показник, за яким оцінюють здатність хімічних елементів та речовин негативно впливати на схожість, ріст та розвиток рослин, урожайність та якість сільськогосподарської продукції;
- 2) **транслокаційний** (ТР) показник – кількісне вираження здатності хімічних елементів та речовин надходити із ґрунту до рослин і накопичуватись у них до небезпечних концентрацій;
- 3) **водно-міграційний** (ВМ) показник – кількісне вираження здатності хімічних елементів та речовин мігрувати по профілю ґрунтів та забруднювати підземні та поверхневі води;
- 4) **загально-санітарний** – санітарно-токсикологічний (СТ) показник – кількісне вираження здатності хімічних елементів та речовин негативно впливати на біоту ґрунтів та їх самоочищення.

Один і той же забруднювач може мати як один напрям, так і декілька.

Нормування якості води для зрошення за екологічними критеріями необхідно проводити за двома групами показників якості води:

- а) *перша група* – властивості води та вміст речовин, які в певній кількості необхідні для нормального функціонування агроєкосистеми. Нормування показників здійснюється з позицій біологічної повноцінності та позитивного впливу на екологічне благополуччя об'єктів навколишнього природного середовища;
- б) *друга група* – властивості води та вміст речовин, які негативно впливають на стан та функціонування агроєкосистеми, і компонентів навколишнього природного середовища. Нормування показників здійснюється з позицій умов придатності води для зрошення.

Перша група містить такі загально-екологічні та еколого-гігієнічні показники:

- макроелементи (нітрати амонію);
- мікроелементи (манган, залізо, мідь, бор, кобальт, цинк, молібден) і фтор, мг/л;
- БПК<sub>5</sub> – біохімічна потреба в кисні, мг O<sub>2</sub> /л;

Друга група містить такі показники

а) еколого-токсикологічні:

- важкі метали (свинець, ртуть, кадмій, селен, миш'як, хром загальний, вісмут, нікель, ванадій), мг/л;
- пестициди, мг/л;
- феноли, ціаніди, мг/л;
- нафту і нафтопродукти, мг/л;
- детергенти, мг/л;

б) санітарно-бактеріологічні, за наявністю:

- бактерій групи кишкової палички (колі-індекс);
- фагів кишкової палички (індекс колі-фагів);
- патогенної мікрофлори;
- життєздатних яєць гельмінтів;

в) радіоактивні речовини.

## **2.1. Оцінка якості зрошувальної води за показником вмісту макроелементів живлення**

Таку оцінку якості зрошувальної води виконують для попередження погіршення еколого-гігієнічних показників поживної цінності сільськогосподарської продукції, а також – еколого-гігієнічного стану підземних та поверхневих вод.

Оцінюють у воді вміст тільки мінерального азоту без урахування вмісту та співвідношення у воді різних його форм, які трансформуються, коли надходять у ґрунт зі зрошувальною водою. Нормується загальне навантаження азоту на зрошувані ґрунти: сумарне надходження азоту в ґрунт у кілограмах діючої ре-

човини на гектар з основним внесенням добрив та зрошувальною водою (розраховано за вмістом азоту у воді в мг/л та загальному об'єму води за період зрошення в м<sup>3</sup>/га) не повинно перевищувати граничнодопустимих річних доз (табл. 2.1). Якщо вони перевищені, то необхідно корегувати дози внесення азотних добрив при підживленнях.

**Таблиця 2.1 – Граничнодопустимі річні дози азотних добрив при зрошенні в природних зонах України**

Сільськогосподарська культура	Природна зона	
	Лісостеп	Степ
	кг/га діючої речовини	
Пшениця озима	160	160
Кукурудза на зерно	180	180
Буряк цукровий	160	170
Картопля	120	106
Томат	120	120
Огірок	90	120
Капуста	120	140
Цибуля	90	120
Кормові коренеплоди	160	170
Кукурудза на силос	150	165

**Примітка** – граничнодопустимі річні дози азотних добрив згідно з НТД 0497055-04.

У тих випадках, коли сільськогосподарські культури зрошують без внесення азотних добрив (багаторічні бобові трави), тоді воду вважають придатною для зрошення, якщо вміст мінерального азоту не перевищує 15 мг/л.

У зрошувальній воді азот може знаходитись у вигляді нітратів ( $\text{NO}_3^{1-}$ ), нітритів ( $\text{NO}_2^{1-}$ ) і амонію ( $\text{HN}_4^{1+}$ ).

**Нітрати неорганічні** (частіше просто **нітрати**) – безбарвні кристалічні речовини, солі нітратної кислоти  $\text{HNO}_3$ . Вони утворюються при взаємодії нітратної кислоти з відповідними металами, або з їх оксидами чи гідроксидами. У воді нітрати добре розчиняються.

Природні солі мають кристалічну острівну будову. Виникають виключно при екзогенних процесах, часто внаслідок гниття органічних решток. Можливе також утворення азотистих сполук з азоту повітря під час грозових розрядів. Застосовують як добрива, протрави при фарбуванні, компоненти вибухових речовин. Нітрати амонію, лужних та лужноземельних металів називають *селітрою*.

При сильному нагріванні нітрати розкладаються, при цьому не плавляться. Виняток становлять лише нітрат натрію і нітрат калію, які спочатку плавляться, а потім уже розкладаються. При цьому продукти розкладу нітратів залежать від активності металу, що входить до складу солі.

Вміст нітратів у зрошувальній воді лімітовано згідно з транслокаційним показником, оскільки вони можуть накопичуватися в рослинах у небезпечних концентраціях і потім споживатися людиною або свійськими тваринами.

В організмі людини нітрати в процесі хімічних реакцій відновлюються до нітритів, які в подальшому, реагуючи з амінами й амідами, беруть участь в утворенні нітрозамінів, що мають канцерогенні властивості.

Плоди і овочі, на відміну від токсичних елементів, є основним джерелом надходження до організму людини нітратів (70–90 % від загальної кількості), граничнодопустимі рівні вмісту яких детерміновані видом та сортом рослинної сировини, способом вирощування, термінами збору врожаю та специфікою кулінарної обробки.

Нітрати характеризуються досить широким спектром токсичної дії. Токсична дія нітратів полягає у тому, що в травному тракті вони частково відновлюються до нітритів (більш токсичних), і останні при надходженні в кров можуть викликати метгемоглобінемію, а також пригнічення активності ферментних систем, які беруть участь у процесах тканинного дихання. Також встановлено, що з нітритів у присутності амінів можуть утворюватися N-нітрозаміни, які виявляють канцерогенну активність. При вживанні високих доз нітратів з питною водою чи з продуктами харчування через 4–6 годин проявляються характерні симптоми нітратного отруєння: нудота, задуха, посиніння шкірних покривів і слизових оболонок, діарея. Це часто супроводжується загальною слабкістю, запамороченням, болями в потиличній частині, тахікардією. Перша допомога при отруєнні нітратами – це ретельне промивання шлунка, активоване вугілля, сольові проносні, свіже повітря, у складних випадках – негайна госпіталізація.

Допустима добова доза нітратів для дорослої людини становить 325 мг. Для питної води діючі стандарти визначають граничнодопустиму концентрацію нітратів до 45 мг/дм<sup>3</sup>. Рекомендоване ВООЗ споживання продуктів харчування, де використовується питна вода (чай, кава, сік, перші страви тощо), у помірно-уможенні кліматі становить приблизно 1,0–1,5 л/добу, максимум 2 л/добу. Таким чином, з водою доросла людина може спожити близько 68 мг нітратів. Відповідно, на харчові продукти залишається 257 мг нітратів. Дослідження виявили, що токсичний вплив нітратів у харчових продуктах проявляється слабше, аніж нітратів, які розчинені в питній воді, приблизно в 1,25 разів. Отже, безпечна добова доза нітратів, яку можна спожити разом з харчовими продуктами, становить 320 мг.

Нітрати негативно впливають на організм вагітної жінки та її плід, погіршуючи показники його біофізичного профілю.

Дослідженнями останніх років доведено, що за зберігання овочів протягом 7 місяців, вміст нітратів, порівняно з його вмістом під час закладання на зберігання, знижується: у цибулі на 15,4 %, картоплі – на 36,5 %, капусті – 32,5 %, моркві – 55,6 %, столових буряках – на 60,2 %.

Оскільки для виробництва швидкозаморожених плодоовочевих продуктів використовують виключно свіжозібрану сировину, що пов'язано перш за все з економічними аспектами виробництва та смаковими властивостями продукції, керувати вмістом нітратів можна, застосовуючи тільки технологічні операції: обчищення, бланшування, витримку у воді тощо.

Наукові дані свідчать про те, що під час видалення шкірки вміст нітратів в овочах знижується на 14–40 %, під час бланшування – на 26–60 %, у разі замочування в холодній воді протягом 5 годин – 27–29 %, у процесі хімічного очищення із використанням 4 %-ового розчину їдкого натру – на 33–62 %.

**Нітрити** – солі нітритної кислоти ( $\text{HNO}_2$ ). Нітрити є більш стійкими, аніж нітритна кислота, особливо нітрити лужних металів, які плавляться без розкладання; інші ж при нагріванні розкладаються: нітрит ртуті – при 75 °С, нітрит срібла – при 140 °С, нітрит барію – при 200 °С.

Нітрити лужних і лужноземельних металів легкорозчинні, інші сполуки цього ряду, крім нітриту срібла, мають помірну розчинність.

Усі нітрити є токсичними.

Нітрити використовуються як відбілювачі, складові антикорозійного покриття та вибухівки. Поширений нітрит натрію застосовується у синтезі гідроксиламіну та у виробництві органічних діазобарвників.

У харчовій промисловості застосовують нітрит калію та натрію, що в класифікації харчових додатків мають позначення E249 і E250, відповідно. Вони є фіксаторами кольору та консервантами.

**Амоній, азаній** – однозарядний катіон  $\text{NH}_4^+$ . Іон має правильну тетраедричну будову і радіус 0,0136 нм.

Катіон амонію утворюється при протонуванні аміаку – пропусканням його крізь розчини кислот або воду. Між іоном  $\text{H}^+$  та молекулою  $\text{NH}_3$  виникає донорно-акцепторний зв'язок, який базується на наявності в молекулі аміаку неподіленої пари електронів, а в іоні  $\text{H}^+$  – вільної орбіталі.

Іон утворює ряд солей амонію.

Постійне вживання води з надмірною концентрацією амонію (аміаку) призводить до цілого ряду захворювань:

- серйозних порушень в репродуктивній системі;
- порушень нервової системи;
- хвороб печінки, нирок і легень;
- підвищення артеріального тиску;
- порушень кислотно-лужного балансу.

## 2.2. Біохімічне споживання кисню

Це показник забруднення, що характеризується кількістю кисню (у мг), який за встановлений період часу витрачено на окислення забруднювачів водойми, що містяться в одиниці об'єму (зазвичай в 1 л) при 20 °С. На практиці біологічне споживання кисню (БСК) найчастіше визначається протягом 5 діб (БСК<sub>5</sub>), але можна визначити БСК<sub>2</sub>, БСК<sub>3</sub>, БСК<sub>10</sub> і т.д. Протягом 5 діб при нормальних умовах відбувається окислювання ~70 % легкоокислюваних органічних речовин; практично повне окиснення (БСК<sub>повн</sub> або БСК<sub>20</sub>) досягається протягом 20 діб.

Встановлено, що чим більше у воді міститься органічних речовин, тим більше потрібно кисню для їх окислення, тобто тим вище показник БСК. Наявність речовин, які гальмують біохімічні процеси, знижує його. Природні

води мають невисокі показники БСК (зазвичай їх БСК<sub>5</sub> не перевищує 0,5–2,0 мг/дм<sup>3</sup>). Більш високі показники БСК вказують на забруднення природних вод.

Для джерел централізованого господарсько-питного водопостачання (ДСТУ 17.1.3.03-77) і водних об'єктів, які використовуються для рибогосподарських потреб, БСК<sub>повн</sub> не має перевищувати 3 мг/л.

Оцінку якості води за еколого-гігієнічними та еколого-токсикологічними показниками – БСК<sub>5</sub> виконують для запобігання зниження здатності ґрунтів до самоочищення, а також – погіршення гігієнічного стану та харчової якості сільськогосподарської продукції.

*Самоочищення* – це процес руйнування забруднюючих речовин у середовищі внаслідок природних фізичних, хімічних та біологічних процесів. Самоочищення найчастіше відбувається за рахунок окислення органічної і неорганічної речовини. За надмірного споживання кисню зрошувальною водою самоочищення буде значно сповільненим.

Вміст БСК<sub>5</sub> у зрошувальній воді лімітовано за показниками ФТ та СТ. Воду вважають придатною для зрошення, якщо вміст БСК<sub>5</sub> не перевищує 10 мг/дм<sup>3</sup>.

## 2.3. Оцінка якості зрошувальної води за вмістом мікроелементів та важких металів

Якість зрошувальної води за вмістом мікроелементів та важких металів оцінюють для попередження негативного впливу на сільськогосподарські рослини, ґрунти, підземні та поверхневі води.

Вміст мікроелементів та важких металів у зрошувальній воді лімітовано згідно з показниками ФТ, ТР, ВМ, СТ.

Оцінюють якість зрошувальної води за вмістом окремих мікроелементів та важких металів проводять згідно з табл. 2.2 з урахуванням пріоритетності показників, та згідно зі ступенем небезпеки елементів (табл. 2.3).

**Мікродобрива** – це добрива, що містять мікроелементи, речовини, які споживають рослини в невеликих кількостях. Поділяються вони на борні, мідні, манганові, цинкові, кобальтові та інші, а також полімікродобрива, у складі яких 2 і більше мікроелементи.

Як мікроелементи застосовують солі мікроелементів, відходи промисловості (шлаки, шлами), фрити (сплави солей зі склом). Найбільш ефективними формами мікроелементів є хелати (Zn, Cu, B, Mo, Fe, Co) та інші сполуки у складі органічних молекул (боретаноламін та ін).

Мікродобрива є одним із найбільш ефективних засобів впливу аграрія на продуктивність культури та якість продукції.

Життєво необхідними для рослин і тварин є майже 30 мікроелементів.

За нестачі мікроелементів у рослин починається руйнування репродуктивних органів і тканин, прояв різноманітних «хлорозів» на листі, відмирання пагонів, коріння, точок росту. Це призводить до значного зменшення врожаю. Проте за надмірної кількості в ґрунті мікроелементів вони можуть накопичува-



тись у рослинах і бути шкідливими для них і для тварин, які споживають рослинну продукцію.

**Таблиця 2.2 – Якість зрошувальної води за вмістом мікроелементів та важких металів (мг/дм<sup>3</sup>)**

Елемент	Оцінка якості води		
	I клас	II клас	III клас
Алюміній	Менше 2,0	2,0–5,0	Понад 5,0
Літій	Менше 1,0	1,0–2,5	Понад 2,5
Залізо*	Менше 2,0 (0,3)**	2,0–5,0	Понад 5,0
Цинк*	Менше 0,5	0,5–1,0	Понад 1,0
Манган*	Менше 0,5	0,5–1,0	Понад 1,0
Хром(Cr <sup>3+</sup> )*	Менше 0,2	0,2–0,5	Понад 0,5
Молибден	Менше 0,005	0,005–0,01	Понад 0,01
Ванадій	Менше 0,05	0,05–0,1	Понад 0,1
Вольфрам	Менше 0,03	0,03–0,05	Понад 0,05
Вісмут	Менше 0,05	0,05–0,1	Понад 0,1
Фтор	Менше 0,8	0,8–1,5	Понад 1,5
Бор*	Менше 0,2	0,2–0,5	Понад 0,5
Селен	Менше 0,01	0,01–0,02	Понад 0,02
Нікель*	Менше 0,08	0,08–0,2	Понад 0,2
Мідь*	Менше 0,08	0,08–0,2	Понад 0,2
Хром (Cr <sup>6+</sup> )*	Менше 0,05	0,05–0,1	Понад 0,1
Кобальт*	Менше 0,02	0,02–0,05	Понад 0,05
Свинець*	Менше 0,02	0,02–0,05	Понад 0,05
Кадмій*	Менше 0,005	0,005–0,01	Понад 0,01
Ртуть*	Менше 0,002	0,002–0,005	Понад 0,005
Берилій	Менше 0,05	0,005–0,01	Понад 0,01
Миш'як	Менше 0,02	0,02–0,05	Понад 0,05
<b>Примітки.</b> * Пріоритетна група елементів згідно з ГОСТ 17.1.2.03. ** Для крапельного зрошення.			

**Цинк** – хімічний елемент з атомним номером 30, проста речовина – крихкий блакитно-сірий метал.

Цинк разом з кадмієм та ртуттю, за сучасною номенклатурою IUPAC утворюють 12 групу періодичної таблиці й за своїми хімічними властивостями близький до магнію, він має ступінь окиснення +2. Цинк 24-й за поширеністю хімічний елемент у земній корі. Найчастіше він зустрічається у вигляді сульфїду, його основна порода – сфалерит (цинкова обманка).

Цинк є фізіологічним важким металом і життєво необхідним елементом для людини, для тварин, рослин і мікроорганізмів. Цинк є компонентом близько 300 ферментів. Дуже часто цинк зустрічається в білках, що є факторами транскрипції. Одна з типових цинковмістних структур, що часто зустрічаються в таких білках, навіть отримала назву «цинковий палець».

У мозку підвищений вміст цинку спостерігається в синапатичних бульбашках. Ймовірно, він відіграє важливу роль в явищі синапатичної пластичності, а, отже, і в навчанні взагалі.

**Таблиця 2.3 – Класифікація мікроелементів та важких металів за ступенем небезпеки в зрошувальній воді**

Клас	Характеристика класу	Елемент	За якими показниками токсичності лімітовано			
			ФТ	ТР	ВМ	СТ
I	Мало небезпечні	Алюміній	ФТ <sub>2</sub>	ТР <sub>1</sub>	ВМ <sub>1</sub>	
		Літій	ФТ <sub>1</sub>	ТР <sub>1</sub>	ВМ <sub>2</sub>	СТ <sub>1</sub>
II	Помірно небезпечні	Залізо*	ФТ <sub>2</sub>	ТР <sub>1</sub>	ВМ <sub>1</sub>	
		Цинк*	ФТ <sub>2</sub>	ТР <sub>3</sub>	ВМ <sub>3</sub>	СТ <sub>2</sub>
		Манган*	ФТ <sub>2</sub>	ТР <sub>2</sub>	ВМ <sub>3</sub>	
		Хром (Cr <sup>3+</sup> )*	ФТ <sub>2</sub>	ТР <sub>2</sub>	ВМ <sub>2</sub>	СТ <sub>2</sub>
		Молибден	ФТ <sub>2</sub>	ТР <sub>2</sub>	ВМ <sub>3</sub>	
		Ванадій	ФТ <sub>2</sub>	ТР <sub>1</sub>	ВМ <sub>1</sub>	
		Вольфрам	ФТ <sub>2</sub>	ТР <sub>1</sub>	ВМ <sub>1</sub>	
		Вісмут	ФТ <sub>2</sub>	ТР <sub>1</sub>	ВМ <sub>1</sub>	
		Фтор		ТР <sub>2</sub>	ВМ <sub>3</sub>	
		Бор*	ФТ <sub>2</sub>	ТР <sub>2</sub>	ВМ <sub>3</sub>	СТ <sub>3</sub>
		Селен	ФТ <sub>2</sub>		ВМ <sub>3</sub>	
III	Дуже небезпечні	Нікель*	ФТ <sub>3</sub>	ТР <sub>2</sub>	ВМ <sub>2</sub>	СТ <sub>3</sub>
		Мідь*	ФТ <sub>3</sub>	ТР <sub>2</sub>	ВМ <sub>2</sub>	
		Хром (Cr <sup>6+</sup> )*	ФТ <sub>3</sub>	ТР <sub>3</sub>	ВМ <sub>2</sub>	СТ <sub>3</sub>
		Кобальт*	ФТ <sub>3</sub>	ТР <sub>2</sub>	ВМ <sub>2</sub>	
		Свинець*	ФТ <sub>3</sub>	ТР <sub>2</sub>	ВМ <sub>2</sub>	СТ <sub>3</sub>
		Кадмій*	ФТ <sub>3</sub>	ТР <sub>3</sub>	ВМ <sub>2</sub>	СТ <sub>3</sub>
		Ртуть*	ФТ <sub>3</sub>	ТР <sub>2</sub>	ВМ <sub>2</sub>	СТ <sub>3</sub>
		Берилій	ФТ <sub>3</sub>	ТР <sub>1</sub>	ВМ <sub>2</sub>	СТ <sub>3</sub>
<b>Примітка.</b> *Пріоритетні показники якості зрошувальної води згідно з ГОСТ 17.1.2.03.						

Цинк впливає на активність тропних гормонів гіпофізу, бере участь у кровотворенні, у реалізації біологічних функцій інсуліну, нормалізуючи жировий обмін, а також він необхідний для нормального функціонування гіпофіза, підшлункової залози, сім'яних міхурів. Сполуки цинку використовують у медицині як лікарські засоби. У нормі в людському тілі циркулює від 2 до 4 г цинку.

Надлишок цинку в організмі може призвести до загальної інтоксикації та мутацій ДНК.

Сільськогосподарські культури, чутливі до нестачі цинку: кукурудза, соя, квасоля, хміль, картопля, льон, овочі, виноград, яблуня, груша, цитрусові.

Цинк сприяє підвищенню жаро-, посухо- та зимостійкості рослин, запобігає передчасному старінню клітин, бере участь у метаболізмі азоту, вуглеводів, фосфатів, а також синтезі регуляторів росту. У кукурудзи цинк бере участь у синтезі хлорофілу та вітамінів В, Р, С, впливає на процес росту та розвитку, підвищує стійкість до несприятливих умов, зокрема заморозків.

**Манган** – хімічний елемент з атомним номером 25; атомна маса Мангану 54.9381 а.о.м.; сріблясто-білий крихкий метал; густина 7,470 кг/дм<sup>3</sup>; температура плавлення 1244 °С. Манган парамагнітний при низьких температурах. Це поширений елемент, його кларк у земній корі становить 0,1 % (за масою), в

ультра основних породах – 0,15 %, основних – 0,2 %, середніх – 0,12 %, кислих – 0,06 %, осадових – 0,07 %, кам'яних метеоритах – 0,2 %. Уміст Мангану в океанічній воді  $2 \cdot 10^{-7}$  %, у живій речовині Землі  $1 \cdot 10^{-3}$  %, у ґрунті  $8.5 \cdot 10^{-2}$  %.

Манган повільно реагує з водою, розчиняється в кислотах, реагує з усіма неметалами (при нагріванні), крім водню. Представлений в основному оксидами, карбонатами і в меншій мірі – силікатами Мангану. Основні мінерали Мангану: піролюзит, гаусманіт, псиломелан, манганіт, брауніт, родохрозит, родоніт. Крім того, Манган містить мінерал велініт. Унаслідок кристалохімічної близькості Мангану до трьох найважливіших петрогенних елементів – Fe, Mg, Ca – широко представлений як ізоморфна домішка в породотвірних мінералах (олівінах, гранатах, слюді, карбонатах). Значну кількість Мангану містять залізо-марганцеві конкреції.

Манган впливає на ріст людини. Необхідний для утворення кісток, збереження репродуктивної функції організму, метаболізму глюкози та ліпідів. Входить до складу ферментних систем, які виконують окисно-відновні реакції внутрішньоклітинного обміну. В організмі людини міститься 20 мг мангану, найбільше в кістках, решта – в тканинах і мозку. При дефіциті порушується фосфорно-кальцієвий обмін, що призводить до розвитку рахіту. Манган прискорює утворення антитіл, посилює синтез гормонів щитовидної залози, позитивно впливає на засвоєння йоду. Сполуки Мангану використовують при невритах. Найбільше його у крупах, борошні, малині, смородині, капусті.

Культури, чутливі до нестачі мангану: цукровий та кормовий буряк, овес, картопля, яблуна, черешня та малина.

Манган сприяє підвищенню якісних показників урожаю сільськогосподарських культур: вмісту цукрів у коренеплодах буряків цукрових та ягодах суниці, крохмалю в бульбах картоплі, білка в зерні зернових культур, вітаміну С в плодах, ягодах та овочах.

**Бор** – хімічний елемент з атомним номером 5, який належить до 13-ої групи (за старою класифікацією – головної підгрупи III групи), 2-го періоду періодичної системи хімічних елементів, та є першим представником напівметалів.

Бор – проста речовина, яку утворює хімічний елемент бор, за нормальних умов і залежно від алотропної модифікації – безбарвний або темно-сірий, або червонуватий, дуже твердий, крихкий кристалічний, або ж темно-сірий чи темно-коричневий аморфний металоїд.

У природі бор наявний у вигляді двох ізотопів –  $^{10}\text{B}$  та  $^{11}\text{B}$ , обидва ізотопи є стабільними. Відомо понад 10 алотропних модифікацій бору, утворення і взаємне перетворення яких визначаються температурою, при якій бор було одержано. У природі існує у вигляді боратів та боросилікатів. Найважливіші мінерали – бура та керніт.

Бор належить до хімічних елементів, які в дуже малих кількостях містяться в тканинах рослин і тварин (тисячні і десятитисячні частки відсотків на суху масу). Для багатьох живих організмів, особливо для рослин, бор є життєво важливим елементом, необхідний для нормальної їхньої життєдіяльності, який

разом з манганом, міддю, молібденом і цинком входить до п'яти найважливіших мікроелементів.

Встановлено, що бор впливає на вуглеводний і білковий обмін у рослинах, тому за його нестачі сповільнюються такі процеси: окислення цукрів, амінування продуктів вуглеводного обміну, синтез клітинних білків, а також знижується вміст АТФ і порушується процес окислюючого фосфорування, внаслідок чого енергія, яка виділяється при диханні, не може бути використана для синтезу необхідних речовин (ферменти, для яких бор є необхідним елементом, поки невідомі), що може призвести до хвороб.

Відомо багато хвороб, які пов'язані з нестачею бору, наприклад гниль сердечка цукрових буряків, чорна плямистість столових буряків, побуріння серцевини брукви і цвітної капусти, засихання верхівки льону, жовтяниця верхівки люцерни, бура плямистість абрикосів, обкоркування яблук та ін. При цьому найважливішими зовнішніми симптомами є відмирання точки росту головного стебла, а потім і пазушних бруньок, а також черешки і листя одночасно стають крихкими, квітки не з'являються та/або не утворюються плоди. Від нестачі бору в ґрунті значно знижуються врожаї багатьох культур, причому це суттєво позначається на врожаї насіння. Щоб запобігти нестачі бору в сільськогосподарські ґрунти вносять борні добрива.

У біогеохімічних провінціях з надлишком бору в ґрунті (наприклад, у північно-західному Казахстані) виникають морфологічні зміни і захворювання рослин унаслідок накопичення бору – гігантизм, карликовість, порушення точок росту та інші. На ґрунтах з інтенсивним борним засоленням зустрічаються «пліщини» – ділянки, які позбавлені рослинності (одна з пошукових ознак родовищ бору).

Сам бор, бор оксид, борна кислота, борати і багато борорганічних сполук майже не токсичні для людини і тварин (токсичність приблизно така сама, як у кухонної солі), але разом із тим борани (сполуки бору з воднем) дуже отруйні, до того ж поки що надто мало відомо про значення бору для організмів людини і тварин. У м'язовій тканині людини міститься  $0,33-1 \cdot 10^{-4}$  % бору, в кістковій тканині –  $1,1-3,3 \cdot 10^{-4}$  %, у крові – 0,13 мг/л. Щодня з їжею людина отримує 1–3 мг бору. У людини і тварин (вівці, верблюди) при харчуванні рослинами з надмірним вмістом бору (60–600 мг/кг сухої речовини і більше) порушується обмін речовин (зокрема, активність протеолітичних ферментів) та з'являється ендемічне захворювання шлунково-кишкового тракту – борний ентерит.  $LD_{50}$  (доза, при якій відбувається 50 % смертей) для тварин становить близько 6 г на 1 кг маси тіла. Для людини токсична доза – 4 г, мінімальна летальна доза поки не встановлена. Речовини з  $LD_{50}$  вище 2 г вважаються нетоксичними.

Найчастіше як борні добрива застосовують осади боратів магнію, борнодатолітові добрива, що містять до 14,5 % водорозчинної борної кислоти, і суперфосфат з добавками сполук бору. Їх вносять під багаторічні трави, льон, бавовник, овочеві, плодові, ягідні та під інші культури. Ефект від застосування борних добрив у декілька разів перевершує витрати на їх виробництво та внесення в ґрунт. Використовують їх тому, що разом з урожаєм культурних рослин з кожного гектара ґрунту щорічно вибирається до 10 г бору, а особливо активно

забирають його коренеплоди і кормові трави, тому це природне зменшення в ґрунті доповнюють борними добривами.

До нестачі бору чутливі: буряки цукрові, ріпак, соя, соняшник, бобові, овочі, фруктові дерева та інші культури.

Бор сприяє збільшенню кількості квіток на рослині, покращенню процесу запилення та знижує їх абортивність, підвищує розвиток репродуктивних органів. Попереджає розвиток фізіологічних хвороб (хлороз, гниль серцевини коренеплодів, деформація листя та ін.). Бор регулює вміст сахарози в коренеплодах, тому додаткове підживлення вирощуваних культур борним добривом має вирішальне значення як для збільшення врожаю коренеплодів, так і для підвищення вмісту цукру. Препарат підвищує імунітет в рослин, покращує якісні та кількісні показники врожаю, подовжує термін зберігання продукції.

**Залізо** – хімічний елемент з атомним номером 26 та атомною масою 55,847, позначається в хімічних формулах символом *Fe* (від лат. ferrum – залізо).

Проста речовина залізо – сріблясто-сірий, електропровідний, пластичний і ковкий метал. Його твердість за Брінеллем не перевищує 100 НВ; модуль Юнга –  $190\text{--}210 \cdot 10^3$  МПа; модуль зсуву –  $8,4 \cdot 10^3$  МПа; границя міцності на розрив –  $170\text{--}210$  МПа, границя текучості – 100 МПа; ударна в'язкість – 300 МПа; середня питома теплоємність (273–1273 К) – 640,57 Дж/кг·К; густина – 7874 кг/м<sup>3</sup>. На повітрі легко окислюється, вкриваючись іржею  $\text{FeO} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , що сповільнює подальше його руйнування. Серед інших породотворних елементів *Fe* має максимальну атомну масу.

*Fe* – життєво важливий хімічний елемент для всіх організмів. У клітинах він зазвичай зберігається у центрі метал-протеїнів, оскільки вільний *Fe* неспецифічно зв'язується із великою кількістю хімічних речовин клітини і може каталізувати утворення токсичних вільних радикалів. Нестача заліза в організмі може призводити до анемії.

У тваринах, рослинах та грибах залізо часто входить до складу гемного комплексу. *Гем* – важлива складова частина цитохромних білків, які відіграють роль посередників у окисно-відновних реакціях, та білків, які переносять оксисен – гемоглобіну, міоглобіну й метгемоглобіну. Неорганічний *Fe* також може впливати на окисно-відновні реакції в залізо-сіркових кластерах багатьох ензимів, наприклад нітрогенази.

До негемних протеїнів належать ензими монооксигенази метану, які окислюють метан до метанолу, рибонуклеотид редуктаза, яка відновлює рибозу до дезоксирибози, гемеритрини, які відповідають за транспортування й фіксацію кисню в морських хребетних, та пурпунова кислотна фосфатаза, що каталізує гідроліз ефірів фосфору.

У ссавців розподіл заліза в організмі жорстко регулюється, оскільки воно є потенційно токсичним. Розподіл заліза регулюється ще й тому, що його потребують чимало бактерій, тож обмеження доступу бактерій до цього елемента допомагає запобігти інфекції або обмежити її. Вочевидь, що це причина відносно малої кількості заліза в молоці ссавців. Основу системи регулювання вмісту

заліза складає білок *трансферин*, який зв'язує залізо й транспортує його до кров'яних клітин.

Культури, чутливі до нестачі заліза: бобові, картопля, капуста, томати, кукурудза, плодово-ягідні.

Залізо відіграє важливу роль – входить до складу ферментів для утворення хлорофілу, тому його нестача безпосередньо впливає на інтенсивність процесів фотосинтезу, що проявляється захворюванням – хлорозом. Також елемент входить до складу нітрогази фермента, який каталізує процес фіксації молекулярного азоту в бульбочках бобових рослин.

Залізо є обов'язковим елементом для внесення в карбонатні ґрунти.

**Мідь** (традиційна назва), або **Купрум** (назва хімічного елемента в новій хімічній термінології, від лат. *Cuprum* – мідь) – хімічний елемент із хімічним символом *Cu* і атомним номером 29, що в чистому вигляді складає хімічну речовину мідь (до простої речовини назва «купрум» не застосовується). Атомна маса міді 63,546, це пластичний ковкий перехідний метал червонувато-золотистого кольору (рожевий за відсутності оксидної плівки), добрий провідник тепла і електрики. Віддавна він широко використовується людиною.

Мідь важливий елемент для всіх рослин і тварин. Відомо понад 50 білків та ферментів, у яких знайдено мідь. В основному мідь міститься в крові у складі білків плазми, які називаються *церулоплазмами*. Поглинаючись у кишечнику, мідь переноситься до печінки завдяки зв'язку із альбуміном. Мідь сприяє росту і розвитку, бере участь у кровотворенні, імунних реакціях. Мідь потрібна організму для перетворення заліза в гемоглобін. У крові більшості молюсків і членистоногих мідь виконує функцію заліза для транспортування кисню.

Відзначено на основі досліджень, що сполуки міді у формі сульфату в певних дозах діють бактеріостатично, протигрибково, антиоксично, у курчат стимулюють ріст, а в курей – несучість і якість яєць, посилюють біотрансформацію білків корму в білки тіла, підвищують загальну резистентність організму сільськогосподарської птиці.

Вважається, що мідь і цинк конкурують один з одним у процесі засвоєння в травній системі, тому надлишок у їжу одного з цих елементів може викликати нестачу іншого елемента. Здоровій дорослій людині щоденно необхідно 1–2 мг міді. Хвороби, які виникають через дефіцит міді: анемія, водянка, дерматози, затримка росту, депігментація волосся, часткове облісіння, втрата апетиту, сильне схуднення, зниження рівня гемоглобіну, атрофія серцевого м'яза.

Надлишкове надходження міді в організм призводить до відкладення її в тканинах (*хвороба Вільсона*). Також можуть виникнути бронхіальна астма, захворювання нирок та печінки і просто інтоксикація організму. Симптоми передозування:

- безсоння, дратівливість, депресія;
- м'язові болі, анемія;
- подразнення слизових оболонок, запальні захворювання;
- погіршення пам'яті;
- розлади шлунково-кишкового тракту.

До нестачі міді чутливі: пшениця, ячмінь, овес, кукурудза, коренеплідні, технічні та бобові культури. Дефіцит міді спостерігається на кислих, піщаних та торф'яних ґрунтах.

Мідь впливає на фіксацію молекулярного азоту (активує процеси зв'язування атмосферного азоту) та на метаболізм рослин. Підвищує стійкість рослин до високих і низьких температур та до грибкових і бактеріальних захворювань; сприяє стійкості рослин до вилягання.

**Молібден** (лат. *Molybdanum*, від гр. *molybdos* – свинець; названий за схожість його руд зі свинцевими) – хімічний елемент позначається як *Mo*, у періодичній таблиці елементів його атомний номер 42, атомна маса 95,94. Ступені окиснення від +6 до –2. Галіди  $Mo^{6+}$  – полімерні з *Mo–Mo* зв'язками. У нижчих ступенях окиснення типовими є фосфінові і карбонільні похідні. З донорними атомами, зокрема з O-лігандами та S-лігандами, утворює комплекси у вищих ступенях окиснення. Відомі комплекси з нітрогеновими лігандами. Оксиди  $MoO_2$ ,  $MoO_3$ .

Проста речовина – молібден. Температура плавлення 2620 °С. Сріблясто-сірий тугоплавкий метал. Густина 10200 кг/м<sup>3</sup>. Окислюється на повітрі.

Молібден відіграє значну роль у біології всіх класів організмів. Наразі, це з'ясовано для двох груп ферментів – *нітрогеназ* та *ферментів molybdopterin* (молібдоптеріноксидоредуктоза).

Нітрогенази знайдені в бактеріях і залучені до зв'язування азоту. Бактерії можуть бути знайдені всередині рослин. Атом молібдену присутній в кластері, який включає атоми сірки та заліза. Назва *molybdopterin* вводить в оману, оскільки група включає ферменти, які містять вольфрам, слово *molybdopterin* фактично не відноситься до атома металу. Група може також згадуватися як «однойдерні ферменти молібдену», оскільки атом металу відсутній у кластері. Ця група ферментів залучена до різних процесів як частина глобальних сірчаних, азотних і вуглецевих циклів та як частина процесу в переміщенні атома кисню.

При вирощуванні рослин існує потреба в незначній кількості молібдену. Дефіцит молібдену призводить до непродуктивності ґрунтів. Рослини і тварини мають декілька частин молібдену на мільйон. У тварин молібден є діючим *кофактором оксидази ксантину* – ферменту, який залучений до розкладання пурину та формування сечової кислоти. У деяких тварин додавання малих кількостей молібдену до їжі підсилює ріст.

До нестачі молібдену чутливі: бобові культури, деякі рослини з родини хрестоцвітих (особливо ріпак і гірчиця), буряки цукрові.

Молібден бере участь у синтезі амінокислот і білків, регулює процес трансформації азоту в рослині. Він відіграє важливу роль у фіксації молекулярного азоту з атмосфери *бульбочковими та вільноіснуючими азотфіксуючими бактеріями*.

Молібден особливо ефективний при застосуванні на кислих ґрунтах, піщаних, з високим вмістом заліза, бідних на фосфор, інтенсивно удобрених мінеральними добривами.

**Кобальт (Co)** – хімічний елемент VIII групи періодичної системи Менделєєва, атомний номер 27, атомна маса 58,9332. Важкий метал сріблясто-білого кольору з рожевим відтінком. Хімічно стійкий. Густина 8,9 г/см<sup>3</sup>. Температура плавлення 1494 °С. Компактний кобальт стійкий на повітрі, при температурі понад 300 °С покривається плівкою CoO; тонкодисперсний кобальт пірофорний; феромагнітний; реагує з розбавленими кислотами (крім HF); при кімнатній температурі взаємодіє з галогенами (крім F<sub>2</sub>).

Утворює безперервні ряди твердих розчинів з *Fe, Ir, Mn, Ni, Pd, Pt, Rh*, обмежені тверді розчини з *Au, Cr, Os, Re*, інтерметалічні сполуки з багатьма металами. Пил кобальту токсичний, ГДК 0,5 мг/м<sup>3</sup>.

Вміст Кобальту в земній корі 0,0018 %. Відомо близько 50 мінералів кобальту, з них половина – сірчисті, арсеново-сірчисті та сполуки (кароліт *CuCo<sub>2</sub>S<sub>4</sub>*, лінеїт *Co<sub>3</sub>S<sub>4</sub>*, кобальтит *CoAsS*, сафлорит (*Co, Fe*)*As<sub>2</sub>*; скутерудит *CoAs<sub>3</sub>*; смальтин (*Co, Ni*)*As<sub>3</sub>* та ін.). Рудні мінерали-носії – пірит, піротин, пентландит, халькопірит, арсенопірит. Геохімічно *Co* найбільш схожий з *Fe* і *Ni*, типовий елемент ультраосновних, частково основних і халькогенних рудних асоціацій, пов'язаних з глибинними джерелами, в яких асоціюються *Fe, Ni, Cu, Ag, U*, а також деяких осадно-метаморфічних утворень (*Fe, Mn, Ni* та ін.). Кобальт у мікрокількостях виявлено в морській воді, мінеральних джерелах, ґрунті, живих організмах. Застосовують *Co* при виробництві спеціальних сталей та сплавів, а радіоактивний ізотоп <sup>60</sup>*Co* – як джерело гамма-випромінювання в техніці.

Кобальт посилює жаростійкість та морозостійкість рослин, підвищує стійкість до хвороб та вилягання. Обмежує надходження важких металів та інтенсифікує поглинання азоту, фосфору, калію. Він прискорює квітування і скорочує вегетаційний період, бере участь у синтезі хлорофілу, нагромадженні вуглеводів і жирів, підвищує інтенсивність дихання.

**Фтор** (гр. *phthoros* – зруйнування) або **флуор** (лат. *Fluorum*) – хімічний елемент VII групи періодичної системи Менделєєва, галоген. Уперше одержаний французьким хіміком *Анрі Муассаном* у 1886 р. електролізом плавикової кислоти.

Символ *F*, атомний номер 9, атомна маса 18,998403. У природі існує один стабільний ізотоп <sup>19</sup>*F*. Штучно отримані радіоактивні ізотопи з масовими числами 16, 17, 18, 20, 21, 22.

Проста речовина Фтор (флуор) – двохатомний (F<sub>2</sub>) блідо-жовтий газ отруйний зі специфічним різким запахом. Температура плавлення –219,699 °С. Має виключно високу хімічну активність і утворює сполуки з усіма хімічними елементами, крім гелію, неону і аргону. Взаємодія фтору з багатьма елементами, оксидами, солями, водою відбувається дуже активно, а з воднем і вуглеводнями – часто з вибухом. У присутності фтору більшість металів, а також *C, Si, P, S* та деякі інші речовини займаються при 20–300 °С і згоряють з утворенням флуоридів. Флуор дуже отруйний, ГДК флуору 0,15 мг/м<sup>3</sup>, при експозиції не більше однієї години – 1,5·10 мг/м<sup>3</sup>. Середній вміст фтору в земній корі 6,25·10<sup>-2</sup> % маси. Фтор виноситься з верхньої мантії переважно з лужною базальтовою і ультрабазитовою магмою. Найважливіші мінерали, збагачені флуором (% мас.): флюорит (47,81–48,8 %), флуорапатит (до 3,8 %), слюда (0,1–



3,5 %), амфіболи (0,1–3,5 %), віліоміт (45,24 %), топаз (13,01–20,45 %), сфен (0,1–1,35 %), кріоліт (54,4 %).

Чистий фтор настільки агресивний, що при попаданні на шкіру людини протягом двох секунд з'являються опіки II ступеня, вода в атмосфері фтору горить синім полум'ям, а платина згоряє як порошок. Під час контакту фтору з воднем навіть при температурі  $-252\text{ }^{\circ}\text{C}$  (близької до абсолютного нуля), відбувається потужний вибух. Багато хіміків, які намагалися одержати фтор у лабораторіях і не знали про його хімічні властивості, загинули або залишилися інвалідами. До речі, навіть таке з'єднання фтору, як плавикова кислота, що розчиняє скло, зберігають у посуді, на внутрішню поверхню якої нанесений парафін.

Фтор небезпечний у чистому вигляді або як деякі прості сполуки і абсолютно необхідний для нормального функціонування організмів людини і тварин. В організмі людини чистий фтор відсутній, і зубна паста його теж не містить. Уживається і засвоюється фтор лише у вигляді мінеральних солей.

Фтор є найважливішою складовою мінерального обміну. В організмі людини виконує безліч функцій.

Фтор необхідний для міцності і твердості кісткової тканини, для формування сполучних тканин, особливо кісток, для росту і підтримки в здоровому стані зубів, волосся і нігтів, профілактики остеопорозу. При переломах кісток фтор є гарантом одужання.

Фтор досить поширений у природі. Відсотковий вміст його в земній корі наближається до вмісту таких елементів, як азот, сірка, хром, манган і фосфор. Проте промислове значення мають тільки два фтористих мінерали – плавиковий шпат і кріоліт. Крім того, фтор входить у порівняно невеликій кількості до складу апатитів. При переробці природних фосфатів на штучні добрива як побічні продукти одержують фтористі сполуки.

Уміст фтору в атомних відсотках у природі такий: ґрунт – 0,02, вода річок – 0,00002, вода океанів – 0,0001, зуби людини – 0,01.

Відносно багаті фтором рослини – сочевиця і цибуля.

Вмістом у ґрунті фтор зобов'язаний вулканічним газам, оскільки до їх складу зазвичай входить велика кількість фтороводню.

Основна роль Фтору в організмі – участь у кісткоутворенні і в процесах формування дентину і зубної емалі. Також фтор стимулює кровотворну систему та імунітет, бере участь у розвитку скелета, стимулює репаративні процеси при переломах кісток, попереджає розвиток сенільного остеопорозу. Основна концентрація фтору в організмі людини: в зубах – 246–560 мг/кг, у кістках – 200–490 мг/кг, у м'язах – 2–3 мг/кг.

Добова потреба дорослої людини становить 2–3 мг фтору. З продуктами харчування доросла людина одержує в середньому 0,8 мг фтору на добу. Найбільша кількість фтору міститься в таких продуктах: риба (тріска, сом), горіхи, печінка. Основна кількість фтору надходить в організм з водою. Звичайна питна вода містить 1 мг фтору на 1 л. Нестача фтору в організмі – один із екзогенних етіологічних факторів карієсу зубів, особливо в період їх прорізу-

вання і мінералізації. У районах з низьким вмістом фтору у воді проводиться фторування води до оптимального вмісту фтору – 1 мг/дм<sup>3</sup>.

Надмірне надходження фтору в організм з водою в основному носить ендемічний характер і виникає в тій місцевості, де вміст фтору у воді перевищує 2 мг/л. Виявляється виникненням флюорозу, який уражає в основному постійні зуби людини. Токсична дія фтору так само може проявлятися *інгібуванням* багатьох ферментних систем. Для зниження вмісту фтору в такій воді проводять її дефторування. Фтор входить до складу ряду комплексів полівітамінів.

**Важкі метали** – нечітко визначена група елементів з металічними властивостями, що зазвичай включає перехідні метали, деякі металоїди, лантаноїди і актиноїди. Історично було запропоновано багато визначень цього терміна, деякі засновані на густині, інші на атомному номері або атомній масі, ще інші на хімічних властивостях або токсичності. У технічній доповіді IUPAC термін «важкі метали» був названий «безглуздим та спантеличуючим» через суперечливі визначення та відсутність «когерентної наукової основи» під ним.

Залежно від контексту «важкими металами» можуть називатися навіть елементи, легші за вуглець, але не можуть так називатися деякі набагато важчі метали. Деякі науковці визначають «важкі метали» як «звичайні перехідні метали, такі як мідь, свинець і цинк, що можуть викликати забруднення навколишнього середовища з великої кількості джерел, включаючи присутність нафти, промислові викиди та кислотні дощі». Існує також практично синонімічний термін «токсичні метали», для якого також відсутнє чітке визначення.

Початково використання терміна пов'язане із виявленням шкідливих впливів на довкілля, які спричиняють метали кадмій, ртуть та свинець, і є важчими за залізо (у 2,0–3,7 рази за атомною масою та в 1,1–1,7 рази за густиною).

Класичне розуміння терміну «важкі метали» сьогодні включає *хром, кобальт, нікель, мідь, цинк, миш'як, селен, срібло, кадмій, стибій* (сурма), *ртуть, талій і свинець*, деякі сполуки яких можуть бути досить токсичними. Разом із тим варто вказати, що хром легший за залізо на 10 % як за атомною масою, так і за густиною, а селен не лише має густину на рівні 61 % від заліза, але й відноситься до неметалів.

**Свинець** (лат. *Plumbum*) – хімічний елемент IV групи періодичної системи Менделєєва. Символ *Pb* атомний номер 82, атомна маса 207,2.

Проста речовина *свинець* (іноді також – «оливо») – важкий, м'який, ковкий, сірий метал.

Густина свинцю 11,34 г/см<sup>3</sup>; температура плавлення 327,6 °С. Свинець хімічно малоактивний. На повітрі досить швидко покривається тонкою плівкою оксиду. Кристалічна решітка кубічна гранецентрована.

Зазвичай свинець трапляється у вигляді руди-галеніту, іноді у вигляді самородків; є кінцевим, стабільним продуктом розпаду урану. Свинець – найм'якший і найслабший з використовуваних металів із низькою точкою плавлення, поганий провідник електрики, стійкий до кислотної корозії, може бути отруйним, накопичується в організмі під час уживання води зі свинцевих труб та використання фарби на основі свинцю і бензину з його добавками. Є ефекти-

вним захистом проти радіації, використовується в гальванічних елементах, склі, кераміці, сплавах типу олова й у припої.

Сполуки плюмбуму токсичні, ГДК – 0,01 мг/дм<sup>3</sup>.

Накопичення Плюмбуму в організмі людини може викликати свинцеві енцефалопатії, виродження периферичних нервів, венозний стаз, псевдомосклероз, серцева гіпертонія, цироз печінки тощо.

**Ртуть** (лат. *hydrargyrum*, – «водянисте срібло»; англ. *mercury* – меркурій) – хімічний елемент II групи періодичної системи. Символ *Hg*, атомний номер 80, атомна маса 200,59. Природна ртуть складається з 7 стабільних ізотопів: 196, 198–202, 204, найрозповсюдженіший 200 (23,1 %). Основний ступінь окиснення +2. Багато сполук *Hg*, зокрема меркуроганічні *HgR<sub>2</sub>*, *RHgX* мають ковалентний характер. Є олігомеркурні форми (*Hg–Hg*)<sup>2+</sup>, *Hg<sub>3</sub>*<sup>2+</sup>.

Проста речовина – ртуть – сріблясто-білий важкий метал, рідкий за кімнатної температури.

Тверда ртуть кристалізується в ромбоєдричній решітці. Густина твердої ртуті 14193 кг/м<sup>3</sup> (при –38,9 °С), рідкої – 13520 кг/м<sup>3</sup> (при 20 °С); температура плавлення –38,86 °С; температура кипіння 356,66 °С. Діамагнітна. При взаємодії з металами, які ртуть змочує, утворюються амальгами – рідкі, напіврідкі або тверді сплави.

Хімічно ртуть малоактивна. При кімнатній температурі не окислюється, при нагріванні до 300 °С окислюється до *HgO*.

Середній вміст меркурію в земній корі  $8,3 \cdot 10^{-6}$  % маси. У земній корі ртуть переважно розсіяна.

Пари меркурію та його сполуки дуже отруйні. З потраплянням до організму людини через органи дихання ртуть акумулюється та залишається там на все життя. Потрапивши в організм людини, ртуть негативно позначається на білковому обміні, шкодить нервовій системі та ниркам і навіть може викликати порушення психіки і діяльності серцево-судинної системи.

Встановлено максимально допустиму концентрацію парів ртуті: для житлових, дошкільних, навчальних і робочих приміщень – 0,0003 мг/м<sup>3</sup>; для виробничих приміщень – 0,0017 мг/м<sup>3</sup>.

Концентрація парів ртуті в повітрі понад 0,2 мг/м<sup>3</sup> викликає гостре отруєння організму людини.

Симптоми гострого отруєння проявляються протягом 8–24 год: починається загальна слабкість, головний біль та підвищується температура; згодом – біль у животі, розлад шлунку, захворювання ясен.

Хронічне отруєння є наслідком вдихання малих концентрацій парів ртуті протягом тривалого часу. Ознаки такого отруєння: зниження працездатності, швидка стомлюваність, послаблення пам'яті і головний біль; в окремих випадках можливі катаральні прояви з боку верхніх дихальних шляхів, починають кровоточити ясна, спостерігається легке тремтіння рук та розлад шлунку. Тривалий час ніяких ознак може й не бути, але потім поступово підвищується стомлюваність, слабкість, сонливість; з'являються – головний біль, апатія й емоційна нестійкість; порушується мовлення, тремтять руки, повіки, а у важких випадках – ноги і все тіло.

Ртуть уражає нервову систему, а тривалий її вплив викликає навіть божевілля.

**Кадмій** – хімічний перехідний елемент II групи періодичної системи Менделєєва, який позначається *Cd* і має атомний номер 48 та атомну масу 112,41. Сріблясто-білий м'який метал з синюватим відливом, гнучкий, тягучий, легкоплавкий, токсичний, зустрічається у цинковій руді, масово використовується в батареях живлення.

Природний кадмій складається із суміші 8 стабільних ізотопів з масовими числами 106, 108, 110, 111, 112, 113, 114, 116. Кадмій сильно захоплює теплові нейтрони, найбільший поперечний перетин поглинання має ізотоп  $^{113}\text{Cd}$ . Солі легко гідролізуються, мають кислу реакцію, під дією лугів виділяється гідроксид  $\text{Cd}(\text{OH})_2$ . Єдиний стабільний ступінь окиснення +2. Характерним для *Cd* є координаційне число 6, хоча зустрічаються 4 і 5. Кадмій органічні сполуки  $\text{R}_2\text{Cd}$  нестійкі до води й кисню, високореактивні.

Кадмій – ковкий метал, алотропних модифікацій не має. Густина  $8,65 \text{ г/см}^3$ , температура плавлення  $321,1^\circ\text{C}$ . Реагує з кислотами. Розчинні сполуки отруйні. Утворює рідкісні мінерали: гринокіт *CdS* (77,7 % *Cd*), отавіт  $\text{CdCO}_3$ , кадмоселіт *CdSe*, монтепоніт *CdO* (87,5 % *Cd*). Входить у вигляді ізоморфної домішки до мінералів цинку. Домішка *Cd* (тисячні частки %) є в гідротермальних рудах, де він присутній у сфалериті, галеніті та ін., головним чином у сульфідних мінералах. Підвищений вміст кадмію (до 1,5 %) характерний для малозалізистих сфалеритів.

У вологому повітрі покривається захисною оксидаційною плівкою з *CdO*, при сильному нагріванні згорає до *CdO*. Галогенами легко оксидується до галідів. Розчиняється в мінеральних кислотах, у лугах нерозчинний. Реагує з киснем при нагріванні, а також з кислотами.

Кадмій – один із небагатьох елементів, що не виконує конструктивних функцій в людському організмі. Цей елемент і його сполуки є надзвичайно токсичними, навіть у незначних концентраціях. Має властивість накопичуватися в організмах і екосистемах.

Вдихання кадмієвого пилу швидко призводить до тяжких і смертельних захворювань дихальних шляхів і нирок (найчастіше до ниркової недостатності). Поглинення будь-якої значної кількості кадмію викликає негайне ураження печінки і нирок. Сполуки, що містять кадмій, є також канцерогенними. Дані про канцерогенність кадмію обмежені. У досліджах на тваринах не було зафіксовано зростання кількості пухлин через вживання кадмію. Така тенденція спостерігалася лише із вдиханням частинок пилу, що містив неорганічні сполуки кадмію.

Отруєння кадмієм є причиною хвороби, що вперше була описана в Японії в 50-х роках XX ст. і отримала назву «Ітай-ітай» (що дослівно означає «боляче-боляче»).

**Селен** (гр. *selene* – луна; лат. *Selenium*) – (*Se*) хімічний елемент із атомним номером 34, атомною масою 78,96, що утворює однойменну просту речовину, неметал, халькоген.

Існує в кількох модифікаціях, з яких найстійкішою є так званий металічний селен, сірого кольору, напівпровідник, дуже чутливий до світла. Густина

4,807 г/см<sup>3</sup>; температура плавлення 221 °С. Існують кубічна та моноклінна модифікації селену. При 100–150 °С ці форми переходять у гексагональний селен. Із розчинів осаджується аморфний червоний селен. Випаровування селену містять молекули  $Se_2$ ,  $Se_4$ ,  $Se_6$  та ін. За хімічними властивостями селен є майже повним аналогом сірки. Сполуки селену часто отруйні.

На повітрі селен стійкий. Взаємодіє із  $F_2$ ,  $Cl_2$ , при нагріванні – з  $O_2$ ,  $H_2$ , металами. Не розчиняється в соляній кислоті ( $HCl$ ), у розбавленій сірчаній кислоті ( $H_2SO_4$ ). Розчиняється в концентрованій азотній кислоті ( $HNO_3$ ).

В організмі людини міститься 10–14 мг селену, більша його частина сконцентрована в печінці, нирках, селезінці, серці, в яєчках у чоловіків. Селен присутній в ядрі клітини.

Добова потреба людини в селені становить 70–100 мкг.

Згідно з даними епідеміологічних досліджень, більш ніж 80 % населення України страждає на дефіцит селену.

Селен в організмі взаємодіє з вітамінами, ферментами і біологічними мембранами, бере участь у регуляції обміну речовин, в обміні жирів, білків і вуглеводів, а також в окисно-відновних процесах. Селен є складовим компонентом більше 30 життєво важливих біологічно активних сполук організму. Селен входить в активний центр ферментів системи антиоксидантного-антирадикального захисту організму, метаболізму нуклеїнових кислот, ліпідів, гормонів (глутатіонпероксидази, йодотіронін-дейододінази, тіоредоксінредуктази, фосфоселенфосфатази, фосфолипид-гідропероксид-глутатіонпероксидази, специфічних протеїнів  $P$  і  $W$  та ін).

Селен входить до складу білків м'язової тканини, білків міокарда. Також селен сприяє утворенню трийодтироніну (гормон щитовидної залози).

Селен є синергістом вітаміну  $E$  і йоду. При дефіциті селену йод погано засвоюється організмом.

Разом із тим сполуки селену часто отруйні. ГДК для парів  $Se$  – 0,1 мг/м<sup>3</sup>.

**Миш'як**, або **арсен** (лат. *Arsenium*) – хімічний елемент V групи періодичної системи Менделєєва. Напівметал. Символ  $As$ , атомний номером 33, атомна маса 74,9216. Арсен реагує з киснем, сплавається з деякими металами, утворюючи арсеніди. Сполуки арсену дуже отруйні.

Арсен має декілька алотропних модифікацій. За звичайних умов найстійкіший так званий металічний або сірий арсен – сіро-стальна крихка кристалічна маса, яка при свіжому зламі має металевий блиск, на повітрі швидко блякне, оскільки покривається тонкою плівкою  $As_2O_3$ . Кристалічна решітка сірого арсену ромбоєдрична, шарувата. Густина  $As$  – 5,72 г/см<sup>3</sup> (при 20 °С), питомий електричний опір  $35 \cdot 10^{-8}$  Ом/см, твердість за Брінеллем 147 кгс/мм<sup>2</sup>. Арсен діамагнітний. При конденсації пари арсену на поверхні, що охолоджується рідким повітрям, утворюється жовтий арсен – прозорі, м'які як віск, кристали густиною 1,97 г/см<sup>3</sup>, схожі за властивостями на білий фосфор. Під дією світла або при слабкому нагріванні він переходить у сірий арсен. Відомі також склоподібно-аморфні модифікації: чорний арсен і бурий арсен, які при нагріванні вище за +270 °С перетворюються на сірий арсен.

При надходженні в організм людини в надмірних кількостях арсен призводить до мутацій ДНК.

Смертельна доза при прийомі всередину 0,05–0,20 г.

**Хром** – елемент побічної підгрупи VI групи 4-го періоду періодичної системи хімічних елементів Д. І. Менделєєва з атомним номером 24. Позначається символом *Cr* (лат. *Chromium*). Проста речовина хром – твердий метал блакитно-сріблястого кольору. Хром іноді відносять до чорних металів.

Хром – один із біогенних елементів, постійно входить до складу тканин рослин і тварин. У тварин хром бере участь в обміні ліпідів, білків (входить до складу ферменту трипсину), вуглеводів. Зменшення кількості хрому в їжі і крові призводить до зниження швидкості росту і до підвищення холестерину в крові.

У чистому вигляді хром досить токсичний, металевий пил хрому подразнює легені. Сполуки хрому (III) викликають дерматити.

Шестивалентний хром є певним канцерогеном при вдиханні. На багатьох робочих місцях співробітники схильні до дії шестивалентного хрому, наприклад, при гальванічному хромуванні або зварюванні нержавіючих сталей. У Європейському Союзі використання шестивалентного хрому суттєво обмежено директивою RoHS.

Шестивалентний хром транспортується в клітини людського організму за допомогою сульфатного транспортного механізму завдяки своїй близькості до сульфатів за структурою і зарядом. Тривалентний хром зустрічається такий, що не транспортується в клітини.

Усередині клітини *Cr* (VI) відновлюється до метастабільного п'ятивалентного хрому *Cr* (V), потім до тривалентного хрому *Cr* (III). Тривалентний хром, приєднуючись до протеїнів, створює *гантени*, які включають імунну реакцію. Після їх появи чутливість до хрому не зникає. У цьому випадку навіть контакт з текстильними виробами, пофарбованими хромовмісними фарбами, або зі шкірою, обробленої хромом, може викликати подразнення шкіри. Вітамін С та інші агенти реагують з хроматами і утворюють *Cr* (III) всередині клітини.

Продукти шестивалентного хрому є генотоксичними канцерогенами. Хронічне вдихання сполук шестивалентного хрому збільшує ризик захворювань носоглотки, та на рак легенів (легені особливо уразливі через велику кількість дрібних капілярів). Мабуть, механізм генотоксичності запускається п'яти- і тривалентним хромом.

У США граничнодопустима концентрація шестивалентного хрому в повітрі становить 5 мкг/м<sup>3</sup> (0,005 мг/м<sup>3</sup>). У Росії граничнодопустима концентрація хрому (VI) істотно нижча – 1,5 мкг/м<sup>3</sup> (0,0015 мг/м<sup>3</sup>).

Одним із загальноновизнаних методів уникнення шестивалентного хрому є перехід від технологій гальванічного хромування до газотермічного і вакуумного напилювання.

**Вісмут** – хімічний елемент 15-ої групи (за старою класифікацією – головної підгрупи V групи) шостого періоду періодичної системи хімічних елементів Д.І. Менделєєва; має атомний номер 83, позначається символом *Pb* (лат.

*Bismuthum*). Проста речовина являє собою при нормальних умовах блискучий сріблястий з рожевим відтінком метал.

Зі сполук вісмуту в медицині найширше використовують його триокис  $Bi_2O_3$ . Зокрема, його застосовують у фармацевтичній промисловості для виготовлення багатьох ліків від шлунково-кишкових захворювань, для антисептичних засобів, а також засобів для загоювання ран. Крім того, останнім часом на  $Bi_2O_3$  основі розробляється ряд протипухлинних препаратів для лікування онкологічних захворювань.

Оксид-хлорид вісмуту знаходить застосування в медицині як рентгеноконтрастний засіб і як наповнювач при виготовленні кровоносних судин. Крім того, в медицині знаходять широке застосування такі сполуки, як *галлат*, *тарtrat*, *карбонат*, *субсаліцилат*, *субцитрат* і *трибромфенол вісмуту*. На основі цих сполук розроблено безліч медичних препаратів (в тому числі мазь *Вишневського*, яку широко використовують).

Як противиразковий засіб використовуються: *вісмуту трикалі діцитрат* (*вісмуту субцитрат*), *вісмуту субнітрат*, *ранітидину вісмуту цитрат*.

Уміст вісмуту в людському організмі становить:

- м'язова тканина –  $0,32 \cdot 10^{-5} \%$ ;
- кісткова тканина – менше  $0,2 \cdot 10^{-4} \%$ ;
- кров –  $\sim 0,016$  мг/л.

Щоденний прийом з їжею 0,005–0,02 мг.

Уміст в організмі середньої людини (маса тіла  $\sim 70$  кг) невеликий, але точні дані про це відсутні. Дані про токсичну і летальну дози також відсутні. Однак відомо, що вісмут при пероральному прийомі малотоксичний. Це здається несподіваним, оскільки зазвичай важкі метали вельми отруйні, але пояснюється легкістю гідролізу розчинних з'єднань вісмуту. В інтервалі величин рН, що зустрічаються в організмі людини (за винятком, хіба що шлунку), вісмут практично повністю осідає у вигляді нерозчинних основних солей. Проте при прийомі вісмуту з речовинами, здатними перевести його в розчин (гліцерин, молочна кислота і т. п.), можливе важке отруєння. При поглинанні великої кількості концентрованих розчинів нітрату та інших солей вісмуту значну небезпеку становить висока концентрація вільної кислоти, що утворилася внаслідок гідролізу.

**Нікель** (лат. *Niccolum*, нім. *Nickel*) – хімічний елемент, метал сріблясто-білого кольору, дуже твердий, добре полірується, притягується магнітом.

Символ *Ni*; атомний номер 28; атомна маса 58,69. Густина  $8,9$  г/см<sup>3</sup>; температура плавлення  $+1455$  °С; температура кипіння  $+2900$  °С. Утворює тверді розчини з *Fe*, *Co*, *Mn*, *Cu*, *Pt*, *Au*, *Pd*, *Cr* та ін.

Природний нікель складається з суміші п'яти стабільних ізотопів:  $^{58}Ni$  (68,27 %),  $^{60}Ni$  (26,10 %),  $^{61}Ni$  (1,13 %),  $^{62}Ni$  (3,59 %) і  $^{64}Ni$  (0,91 %).

Входить у структуру деяких білків, ДНК, РНК, проте прояви його дефіциту в організмі людини не описані. За надлишкового надходження в організм людини проявляє токсичну і канцерогенну дію. Нормальний вміст Нікелю при аналізі волосся – до 2 мкг/г, нігтів – до 3 мкг/г. За надлишкового надходження в організм унаслідок побутових або виробничих факторів спостерігається підви-

щена кількість Нікелю при аналізі волосся і нігтів. У 10–15 % населення Землі спостерігається алергія на Нікель.

**Ванадій (V)** – хімічний елемент з атомним номером 23 та його проста речовина – м'який і ковкий метал. Використовується в основному для виробництва певних сплавів.

Ванадій – метал сіро-сталевого кольору. Рідкісний. Середній вміст у земній корі – 0,02 % маси. Відомо близько 80 мінералів – ванадатів природних, більшість із них – екзогенного походження. Основні з них: ванадиніт, карнотит, деклуазит.

Хоча наразі ванадій не входить до списку необхідних для людини елементів, деякі інші організми його потребують. Переважна більшість із них – морські. Деякі водорості містять ванадій у складі фермента бромпероксидази, а деякі азотфіксуючі бактерії – у нітрогеназі. Асцидії і покривники акумулюють в собі ванадій, і мають для цього спеціальні клітини, які називають ванадоцитами. Концентрація ванадію в їх крові в мільйони разів вища, ніж у навколишній воді. З наземних організмів великі концентрації ванадію знайдені у звичайних мухоморах, хоча про його біологічне значення для них достеменно не відомо.

**Алюміній** (лат. *Aluminium*) – (Al) елемент 13-й групи періодичної таблиці хімічних елементів (за старою класифікацією – елемент головної підгрупи III групи), третього періоду. Належить до групи легких металів. Найбільш поширений метал і третій за поширеністю хімічний елемент у земній корі (після кисню і кремнію).

Проста речовина алюміній – легкий парамагнетичний метал сріблясто-білого кольору, що легко піддається формуванню, литтю, механічній обробці. Алюміній має високу тепло- і електропровідність, стійкість до корозії за рахунок швидкого утворення міцних оксидних плівок, що захищають поверхню від подальшої взаємодії.

Незважаючи на широку поширеність у природі, жодна жива істота не використовує алюміній в метаболізмі – це «мертвий» метал. Відрізняється незначним токсичним впливом, але багато розчинних у воді неорганічних сполук алюмінію зберігаються в розчиненому стані тривалий час і можуть мати шкідливий вплив на людину і теплокровних тварин через питну воду. Найбільш отруйними є хлориди, нітрати, ацетати, сульфати та ін. Для людини токсичними при потраплянні всередину є такі дози сполук алюмінію (мг/кг маси тіла):

- ацетат алюмінію – 0,2–0,4;
- гідроксид алюмінію – 3,7–7,3;
- алюмінієві галуни – 2,9.

У першу чергу алюміній впливає на нервову систему (накопичується в нервовій тканині, приводячи до важких розладів функції центральної нервової системи). Властивість нейротоксичності алюмінію почали вивчати з середини 1960-х років, так як накопичення металу в організмі людини перешкоджає механізму його виведення. У звичайних умовах із сечею може виділятися до 15 мг елемента за добу. Негативний ефект спостерігається у людей з порушеною функцією нирок.



Норматив умісту алюмінію у воді господарсько-питного використання становить 0,2 мг/л. При цьому дана ГДК може бути збільшена до 0,5 мг/л по відповідній території для конкретної системи водопостачання.

За деякими біологічними дослідженнями, надходження алюмінію в організм людини було визнано фактором у розвитку хвороби Альцгеймера, але ці дослідження були пізніше розкритиковані, і висновок про зв'язок одного з одним не підтвердився.

Сполуки алюмінію також, можливо, стимулюють рак молочної залози при застосуванні антиперспірантів на основі хлориду алюмінію, але наукових даних, які це підтверджують, менше ніж тих, що заперечують.

У ряді джерел, авторство яких не вказано, містяться твердження про те, що алюміній нібито здатний заміщати кальцій в кістковій тканині. Це суперечить науковим даним, оскільки в електрохімічному ряду активності металів алюміній стоїть правіше кальцію – тобто є менш хімічно активним металом.

**Літій** (лат. *Lithium*) – (*Li*) – хімічний елемент з атомним номером 3, який належить до I групи (за старою класифікацією – головної підгрупи I групи), 2-го періоду періодичної системи хімічних елементів, та є першим представником лужних металів.

Літій – проста речовина, яку утворює хімічний елемент літій – (за нормальних умов) дуже легкий (найлегший), м'який, сріблясто-білий, хімічно активний метал.

Вміст літію в земній корі –  $6,5 \cdot 10^{-3}$  % мас. Природний літій складається з двох стабільних ізотопів (6, 7 (основний)). Утворює ряд сполук *Li(I)*, переважно іонних, але зв'язок *C-Li* у літійорганічних сполуках ковалентний. Відомо близько 30 природних літієвих мінералів, здебільшого силікатів і фосфатів, але видобувають літій переважно зі сподумену *LiAl[Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>]*, що містить 6,0–7,5% *Li<sub>2</sub>O*. Основні промислові запаси зосереджено в ропі соляних озер. Літій застосовують у термоядерних реакціях, у металургії, електротехнічній, керамічній та хімічній промисловостях. Входить до складу деяких легких сплавів. Сполуки літію застосовують у медицині, а також при виготовленні скла та емалей.

Літій постійно входить до складу живих організмів, проте його біологічна роль з'ясована недостатньо. Встановлено, що в рослин літій підвищує стійкість до хвороб, підсилює фотохімічну активність хлоропластів у листках (томати) і синтез нікотину (тютюн). Здатність концентрувати літій найбільше виражена серед морських організмів у червоних і бурих водоростей, а серед наземних рослин – у представників родини жовтецевих (рутвиця, жовтець) і родини паслонових (дереза). В організмі людини літій знаходиться в щитовидній залозі, лімфовузлах, серці, печінці, легенях, кишечнику, плазмі крові, наднирниках. В організмі людини масою 70 кг міститься близько 0,7 мг літію. Токсична доза 90–200 мг. Літій бере участь у важливих процесах:

- вуглеводному і жировому обмінах;
- підтримує імунну систему;
- попереджає виникнення алергії;
- знижує нервову збудливість.

Виділяється літій переважно нирками.

**Вольфрам** (лат. *Wolframium*, нім. *Wolfram*) – хімічний елемент. Символ *W*, атомний номер 74, атомна маса – 183,85. Сріблясто-білий метал. Має найвищу серед усіх металів температуру плавлення і кипіння (серед інших елементів вищу температуру плавлення має лише карбон). Належить до групи перехідних металів. Один з найважчих металів – його густина 19,25 г/см<sup>3</sup> (на 70 % більше ніж у свинцю). Сплави вольфраму мають високу твердість, стійкість до корозії й температури.

Металічний вольфрам у звичайних умовах хімічно стійкий. З киснем починає взаємодіяти при температурі вище 400 °С. Протистоїть дії води, але при температурі червоного розжарювання легко окислюється водяною парою. Найбільш характерними й стійкими є сполуки вольфраму зі ступенем окиснення +6. Найважливіші з них: триоксид вольфраму  $WO_3$ , вольфрамова кислота  $H_2WO_4$  і її солі – вольфрамати.

Вольфрам не відіграє значної біологічної ролі. У деяких архей і бактерій є ферменти, які містять вольфрам у своєму активному центрі. Існують облигатно-залежні від вольфраму форми архей-гіпертермофілів, що живуть навколо глибоководних гідротермальних джерел. Наявність вольфраму в складі ферментів може розглядатися як фізіологічний релікт раннього архея — існують припущення, що вольфрам відіграв роль на ранніх стадіях виникнення життя на Землі.

**Берилій** (хімічний символ – *Be*, лат. *Beryllium*) – хімічний елемент з атомним номером 4, який належить до II групи (за старою класифікацією – головної підгрупи II групи), 2-го періоду періодичної системи хімічних елементів, та є першим представником лужноземельних металів.

Також берилієм називають просту речовину хімічного елемента берилію. За нормальних умов це легкий, твердий, крихкий, сріблясто-сірий, хімічно активний метал.

Берилій представлений лише одним стабільним ізотопом <sup>9</sup>Be. При нагріванні сполучається з киснем, галогенами та іншими неметалами. Розчинний в лугах і більшості кислот. При високих температурах взаємодіє з більшістю металів, утворюючи бериліди. Леткі сполуки берилію та пил, що містить берилій, є токсичними. Відомо 54 берилієвих мінерали, найважливіші з яких – берил, фенакіт, бертрандит, гельвін, крім того, берилій міститься в мінералі бабефіт.

Берилій виявлено в рослинах, які ростуть на берилієвмістих ґрунтах, а також в тканинах і кістках тварин. Уміст берилію в ґрунтах – від  $2 \cdot 10^{-4}$  до  $1 \cdot 10^{-3}$  %, у золі рослин – близько  $2 \cdot 10^{-4}$  %. У тварин берилій розподіляється по всіх органах і тканинах, у золі кісток міститься від  $5 \cdot 10^{-4}$  до  $7 \cdot 10^{-3}$  % берилію. Його вміст в організмі середньої людини (маса тіла 70 кг) становить 0,036 мг, щоденне надходження з їжею – близько 0,01 мг. Близько 50 % засвоєного твариною берилію виділяється з сечею, близько 30 % поглинається кістками, 8 % виявлено в печінці та нирках.

Біологічне значення берилію мало з'ясовано. Воно визначається його участю в обміні *Mg* і *P* в кістковій тканині. І якщо для рослин берилій відносно нешкідливий, то для тварин дуже токсичні його летючі та розчинні сполуки, а також пил, що містить берилій і його сполуки. Так за надлишку в раціоні солей

берилію відбувається зв'язування в кишечнику іонів фосфорної кислоти в розчинний фосфат берилію. Активність деяких ферментів (лужної фосфатази, аденозинтрифосфатази) починає гальмуватися вже при малих концентраціях берилію. Таким чином, постійно «викрадаючи» фосфати, берилій тим самим спричиняє ослаблення кісткової тканини – що призводить до нестачі фосфору та може спровокувати не виліковну вітаміном *D* хворобу – «берилієвий рахіт». Зустрічається він в основному у тварин у біогеохімічних провінціях, багатих на берилій.

Берилій також заміщає у ферментах магній і має яскраво виражену алергічну і канцерогенну дію. Дуже небезпечно вдихати його та його сполуки із атмосферного повітря, що може призвести до запальних процесів на шкірі та/або тяжкого захворювання органів дихання, наприклад бериліозу. При короткочасному вдиханні великих концентрацій розчинних сполук берилію виникає гострий бериліоз, що являє собою подразнення дихальних шляхів, іноді супроводжується набряком легенів і задихою. Є і хронічний різновид бериліозу, для якого характерні не такі різкі симптоми, але він супроводжується тяжкими захворюваннями з порушеннями функцій всього організму. Слід зазначити, що ці захворювання можуть виникнути через 10–15 років після припинення контакту з берилієм, і тому за таку підступну й згубну дію на живі організми берилій деколи називають «повзучою смертю». Для лікування бериліозу застосовують найчастіше хімічні сполуки, які зв'язують іони берилію і сприяють їх виведенню з організму.

Для повітря ГДК дуже мала, і в перерахунку на берилій становить усього 0,001 мг/м<sup>3</sup>. Це значно менше допустимих норм для більшості металів, навіть таких токсичних, як свинець.

**Стибій (Sb)**, інші назви **антимон, сурма** – хімічний елемент з атомним номером 51, сріблясто-білий блискучий дуже крихкий напівметал, який застосовують у металургії, гумовій промисловості, фармацевтиці, піротехніці тощо.

Атомна маса 121,75. У природі представлений двома стабільними ізотопами <sup>121</sup>Sb (57,25 %) та <sup>123</sup>Sb (42,75 %).

Утворює оксиди  $Sb_2O_3$ ,  $Sb_2O_4$ ,  $Sb_2O_5$ , сполуки з металами – антимоніди, сульфід  $Sb_2S_3$  та ін. Густина 6618 кг/м<sup>3</sup>, температура плавлення +630,5 °С.

Нерозчинний у хлоридній та фторидній кислотах, у розведеній сульфатній кислоті; розчиняється в «царській водці», у суміші нітратної та винної кислот. При дії концентрованої нітратної кислоти переходить у нерозчинну метастибатну кислоту  $HSbO_3$ . За звичайних умов стибій на повітрі не змінюється. З киснем стибій взаємодіє лише в розплавленому стані, утворюючи  $Sb_2O_3$ ; з воднем і азотом при нормальних умовах не реагує. Активно взаємодіє з галогенами (за винятком  $F_2$ ).

З лугами утворює солі антимоніти, наприклад  $NaSbO_2 \cdot 3H_2O$ .  $Sb_2O_5$  – оксид стибію (V) з кислотними властивостями, з лугами утворює антимонати, наприклад  $Na_3SbO_4 \cdot 3H_2O$ .  $Sb_2O_4$  – оксид стибію (III) і стибію (V). При взаємодії з іншими елементами виявляє подвійні властивості. З воднем стибій утворює стибін  $SbH_3$ , який за своїми властивостями схожий з арсеном і утворює органічні сполуки стибію – похідні стибіну, в якому атоми гідрогену частково або

повністю заміщені на органічні радикали, наприклад метилстибін  $CH_3SbH_2$ , диметилхлорстибін  $(CH_3)_2SbCl$  та ін.

Вміст стибіну в земній корі становить  $4 \cdot 10^{-5}$  % за масою. В організмі людини міститься близько  $7,9 \cdot 10^{-3}$  г стибіну. Концентрація стибіну в крові людини становить близько  $4,6 \cdot 10^{-6}$  г/л.

У медицині сполуки стибіну застосовують як лікарський препарат. Препарати стибіну мають антигельмінтні та протипротозойні властивості. Антимонілу-натрію тартрат  $C_4H_2O_6NaSb \cdot \frac{1}{2}H_2O$  – білий кристалічний порошок, важкорозчинний у воді має антисептичні властивості. Використовується для лікування шистосоматозів. Солосурмін (*Solusurminum*) є динатрієвою сіллю комплексної сполуки стибіну (+5) та глюконової кислоти. Застосовується для лікування вісцерального лейшманіозу, лейшманіозу шкіри, особливо його хронічної туберкулоїдної форми. За своєю дією близькі до солосурміну препарати стибозан, стибозамін, стибеніл, які відрізняються від нього за хімічною структурою.

Стибій токсичний, ГДК 0,5 мг/м<sup>3</sup>.

**Талій** – хімічний елемент із атомним номером 81 та відповідна проста речовина, перехідний метал. Природний *Tl* складається з двох стабільних ізотопів <sup>203</sup>*Tl* і <sup>205</sup>*Tl* (основний). Ступені окиснення: +3 (оксидант), +1 (стабільний). Сполуки, які мають стехіометрію іншу, ніж та, що відповідає *Tl*(I) і *Tl*(III), містять змішані ступені окиснення (приклад,  $TlBr_2 = Tl^I[Tl^{III}Br_4]$ ). *Tl*(I) слабо-, а *Tl*(III) – сильнокомплексоутворювальні. Оксиди: талій (I) оксид  $Tl_2O$ , талій (III) оксид  $Tl_2O_3$ . Талійорганічні сполуки:  $TlMe_3$  (спалахують на повітрі),  $TlC_5H_5$ ,  $TlOR$  – полімерні.

Проста речовина – талій. Метал, температура плавлення +303.5 °С, густина 11.85 г/см<sup>3</sup>. Взаємодіє з сіркою, галогенами, слабкорозчинний у розведених кислотах, легкорозчинний у  $HNO_3$ .

Атомна маса 204,37. У природі існує два стабільних ізотопи – <sup>203</sup>*Tl* і <sup>205</sup>*Tl*. Радіоактивні ізотопи: <sup>207</sup>*Tl* – <sup>210</sup>*Tl*. Оксиди:  $Tl_2O$ ,  $Tl_2O_3$ .

Подібно до лужних металів (*Li-Fr*) талій є одновалентним  $Tl^{+1}$ .  $TlOH$  є сильною основою (луг), жовтого кольору. Також утворює (подібні до лужних металів) політіосульфідів, алкоголяти.  $Tl_2CO_3$ ,  $Tl_2SO_4$ ,  $Tl_4[Fe(CN)_6]$  — розчинні у воді сполуки, а  $Tl_2[PtCl_6]$  — нерозчинна у воді сіль подібно до  $K_2[PtCl_6]$ . Подібно до калію, рубідію, амонію талій утворює галуни:  $TlAl(SO_4) \cdot 12H_2O$ ,  $TlU(SO_4) \cdot 12H_2O$ . В ряду галогенідів  $TlF \rightarrow TlI$  та  $AgF \rightarrow AgI$  розчинність солей падає (фториди обох металів добре розчиняються у воді).

Талій важкий, м'який та легкоплавкий метал. Хромат та йодид талію – жовтого кольору, нерозчинні у воді солі.  $Tl^{3+}$  подібний до своїх аналогів – індію, галію, алюмінію. Проте тривалентний талій не утворює галуни.  $Tl^{3+}$  – активний окисник, на відміну від своїх аналогів по групі. Цим він подібний до свинцю (IV) та золота (III).

Проста речовина – талій. Блакитно-сірий, важкий, м'який та легкоплавкий метал. При температурі нижче +233 °С має щільноупаковану гексагональну кристалічну решітку, вище +233 °С – об'ємноцентровану кубічну решітку. При

тиску 3,9 ГПа решітка гранецентрована кубічна. Густина 11849 кг/м<sup>3</sup>. Температура плавлення +303,6 °С.

За своїми фізичними та хімічними властивостями талій нагадує свинець. На повітрі легко окиснюється і швидко тьмяніє; з галогенами і киснем взаємодіє при нормальних умовах, із сіркою і фосфором – при нагріванні.  $Tl^{3+}$  подібний до своїх аналогів – індію, галію, алюмінію. Але тривалентний талій не утворює галуни.  $Tl^{3+}$  – активний окисник, на відміну від своїх аналогів по групі. Цим він подібний до свинцю (IV) та золота (III).

Сполуки талію дуже отруйні, чим подібні до ртуті та свинцю. Так, сульфат талію використовують як ефективний засіб у боротьбі з гризунами. Токсичний, ГДК – 0,1 мг/м<sup>3</sup>.

## 2.4. Вплив пестицидів на якість зрошувальної води

Оцінку якості води за вмістом пестицидів здійснюють для попередження негативного впливу на сільськогосподарські рослини та поверхневі води, рослинний та тваринний світ.

Вміст пестицидів, як суми залишкової кількості діючої речовини та продуктів метаболізму, в зрошувальній воді лімітовано за тими самими показниками ФТ, ТР, ВМ, СТ (перелік пестицидів наведено, згідно ДСТУ 7286 та СанПіН 4630), а також за класифікацією пестицидів за ступенем небезпеки в зрошувальній воді, ґрунтах та рослинах (табл. 2.4).

Якщо вміст пестицидів у воді не перевищує ГДК (табл. 2.5), то воду відносять до класу I «Придатна без обмежень». У тому разі, коли вміст одного чи декількох пестицидів перевищує ГДК, оцінку якості води проводять з урахуванням ступеню небезпеки пестицидів.

Воду відносять до II класу «Обмежено придатна», якщо вміст пестицидів, віднесених до класу «малонебезпечні», не перевищує 2·ГДК (табл. 2.4). Воду вважають III класу «Непридатною для зрошення», якщо перевищено ГДК пестицидів, віднесених до класів «помірно небезпечні» та «дуже небезпечні».

Відомо, що ефективність пестицидів зменшується під впливом як природних, так і біологічних чинників, зокрема, в результаті стікання крапель із листя, змивання їх під час дощу, через поверхневий натяг крапель, випаровування робочого розчину за умов високої температури або низької вологості повітря, наявності кутикули на листках тощо. Зменшення ефективності пестицидів внаслідок впливу цих чинників меншою мірою залежить від агронома. Водночас існує можливість безпосередньо забезпечити високу технічну ефективність пестицидів завдяки використанню для приготування робочого розчину води, параметри якої не погіршуватимуть властивостей препаратів.

Вода становить 95 % (і більше) розчину, який розпилюється, тому погіршення ефективності пестицидів у більшості випадків прямо пов'язано з якістю води, фізико-хімічні показники якої (рН, жорсткість, вміст солей, органічних речовин, механічних домішок тощо) не відповідають необхідному рівню. Крім того, ефективність пестицидів залежить і від температури води.

Таблиця 2.4 – Класифікація пестицидів за ступенем небезпеки в зрошувальній воді, ґрунтах та в рослинах (ДСТУ 7286:2012)

Клас	Характеристика класу	Пестицид	Лімітуючий показник	ГДК у ґрунті, мг/кг	Персистентність у ґрунті *, місяців	ГДК у рослині **, мг/кг	Персистентність у рослині *, місяців
1	2	3	4	5	6	7	8
I	Малонебезпечні	Дактал	ТР	0,1	4–6	3,0 – рослинні продукти	Менше 1
		Дилор	ТР	0,5	4–6	0,15 – виноград, картопля; 0,2 – овочі, буряки цукрові	Менше 1 Менше 1
		Полікарбацин	ФТ, ТР	0,6	1–6	1,0 – овочі, фрукти, ягоди	Менше 1
		Прометрин	ФТ, ТР	0,5	3–4	недопустимо – морква; 0,1 – овочі, картопля	Менше 1
		Трихлорацетат натрію	ФТ	0,2	2–6	0,01 – овочі, фрукти, зернові	Менше 1
		Цинеб	ТР, СТ	0,2	до 1	0,6 – фрукти, овочі; 1,0 – зернові	Менше 1
II	Помірно небезпечні	2,4-Д амінна сіль	ТР, ВМ	0,25	1,0–1,5	недопустимо – всі харчові продукти	1–3
		Далапон	ТР, СТ	0,5	6–12	1,0 – фрукти, виноград; овочі	1–3
		Карбофос	ТР, ВМ	2,0	до 3	1,0 – овочі, фрукти та інші рослинні продукти	1–3
		Пропанід	ФТ, СТ	1,5	6–12	3,0 – виноград	1–3
		Сімазин	ФТ, ТР, СТ	0,2	до 12	0,05 – виноград; 0,2 – фрукти; 1,0 – зернові	1–3
		Трефлан	СТ	0,1	6–12	0,5 – цибуля, морква, капуста	1–3
		Хлорофос	ТР, ВМ	0,5	до 3	0,1 – зелень, капуста, фрукти; 0,2 – інші овочі	1–3
		Ялан (ордрам)	ТР, СТ	0,9	2–6	0,2 – рис	1–3
		Рогор	ТР, ВМ, СТ	0,3	6–12	1,0 – фрукти, картопля, овочі, зернові	1–3

1	2	3	4	5	6	7	8
III	Дуже небезпечні	Атразін	ФТ, ТР, СТ	0,5	18–20	0,1 – зернові, фрукти, овочі	Більше 3
		Гексахлорбутадиєн	ФТ, ТР, СТ	0,5	до 24	недопустимо – виноградний сік; 0,01 – виноград	Більше 3
		ДДТ	ФТ, ТР, СТ	0,1	до 144	0,02 – зерно; 0,1 – картопля, цукрові буряки	Більше 3
		ПХК (поліхлоркамфен)	ФТ, ТР, СТ	0,5	6–24	недопустимо – зелений горошок; 0,1 – картопля, цукрові буряки	Більше 3
		ПХП (поліхлорпінен)	ФТ, ТР, СТ	0,5	6–24	недопустимо – картопля, горох, цукрові буряки	Більше 3
		Севін	ФТ, ТР, СТ	0,05	до 12	недопустимо – плоди, ягоди, кукурудза	Більше 3
		Метафос	ФТ, ТР	0,1	до 3	недопустимо – всі продукти	Більше 3
		Гептахлор	ФТ, ТР, СТ	0,05	до 36	недопустимо – всі продукти	Більше 3
		ГХЦГ	ФТ, ТР, СТ	0,1	6–18	0,2 – зернові, картопля, овочі	Більше 3
		Гранозан	ФТ, ТР, СТ	0,1	до 24	недопустимо – всі харчові продукти	Більше 3
<b>Примітки</b> * Згідно з ГОСТ 17.4.1.02. ** Згідно з додатком ВНД 33-5.5-02-97.							

Для приготування робочого розчину необхідно використовувати тільки чисту воду з оптимальними фізико-хімічними властивостями, наприклад артезіанську. Вода, властивості якої не відповідають вимогам щодо використання її для приготування робочого розчину, не тільки знижуватиме технічну ефективність пестицидів, а й пошкоджуватиме механізми та обладнання обприскувачів.

**Пестицид** – це хімічний або біологічний агент, який затримує, знищує чи іншим чином заважає шкідникам (шкідливим або небажаним для сільськогосподарської діяльності мікроорганізмам, рослинам і тваринам). Відповідно до рекомендацій Агентства з охорони довкілля США (USEPA) термін «пестицид» вживають на позначення: *фумігантів, інсектицидів, майтицидів/акарицидів, нематоцидів, моллюскоцидів, фунгіцидів, антимікробних препаратів, бактерицидів/біоцидів, мікробіцидів/антибіотиків, гербіцидів, родентицидів, авіцидів, альгіцидів, овіцидів* (знищення яєць), *дезінфекційних засобів та засобів проти водоростей*. Поняття «пестициди» охоплює і біологічні засоби, такі як *біопестициди, мікробні пестициди, репеленти, дефоліанти, сикативи* та регулятори розвитку комах.

Розглянемо основні пестициди, вміст яких в поливній воді впливає на оцінку її якості та іригаційної придатності.

**Таблиця 2.5 – Граничнодопустимі концентрації пестицидів у зрошувальній воді (ДСТУ 7286:2012)**

Пестицид	ГДК у зрошувальній воді, мг/л
Дактал	1,0
Дилор	0,1
Полікарбацин	2,0
Прометрін	3,0
Трихлорацетат натрію	5,0
Цинеб	0,03
2,4-Д амінна сіль	0,2
Далапон	2,0
Карбофос	0,05
Пропанід	0,1
Сімазін	0,02
Трефлан	1,0
Хлорофос	0,05
Ялан (ордрам)	0,07
Рогор	0,03
Атразін	0,05
Гексахлорбутадиєн	0,01
ДДТ	0,1
ПХК (поліхлоркамфен)	0,005
ПХП (поліхлорпиперинен)	0,02
Севін	0,1
Метафос	0,02
Гептахлор	0,05
ГХЦХ	0,02
Гранозан	0,0001

**Дактал**, тетран, системний гербіцид. Випускають 70 %-вий змочуваний порошок. Застосовують для знищення однодольних (мишій та ін.) і дводольних (лобода, зірочка та ін.) бур'янів у посівах капусти, цибулі, часнику, сої та знищення куколю п'яного в посівах льону-довгунця. Поля обприскують до появи сходів культури або до висадки розсади, насіння льону посипають перед висівом. Норми витрати діючої речовини для обприскування в посівах овочевих культур – 7,6–11,0 кг/га, для обробки насіння льону – 15 кг/т. Малотоксичний для людини і тварин. Граничнодопустимий рівень у рослинних харчових продуктах 3 мг/кг.

**Ділорам**, бетадигідрогетахлор, хімічний препарат для захисту рослин від комах – шкідників сільськогосподарських культур (інсектицид кишкової дії). Випускають 80 %-вий змочуваний порошок. Рекомендований для триразового, чотириразового обприскування (кг/га д.р.): картоплі 0,2–0,5 і овочів 0,5–0,6 – проти колорадського жука, буряків цукрових 1,6–2,4 – проти довгоносиків. Остання обробка не пізніше ніж за 20 діб (картопля) і за 30 діб (буряки цукрові, овочі) до збирання врожаю. Середньотоксичний для людини і тварин. Граничнодопустимий рівень в картоплі, овочах, цукрових буряках 0,1 мг/кг.



**Полікарбацін**, метирам – хімічний препарат для захисту рослин від хвороб; фунгіцид. Випускають 80 %-вий змочуваний порошок. Застосовують для обприскування рослин, обробки насіння буряків цукрових, бульб насінневої картоплі, вносять у ґрунт під капусту. Рекомендований для обробки пшениці, рису, буряків цукрових, картоплі, ріпаку, помідор, огірків, цибулі, яблуни, груші, винограду, хмелю, тютюну і махорки, коріандру, м'яти перцевої, подорожника великого, ефіроолійної троянди. Остання обробка не пізніше ніж за 20 діб (на винограді – за 30, у захищеному ґрунті – за 3 доби) до збирання врожаю. Норма витрати від 2 до 8 кг/га; при протравлюванні насіння буряків цукрових – 5 кг/т, бульб картоплі – 2,6–2,7 кг/т; при внесенні в ґрунт – 3–5 кг/га. Малотоксичний для людини і сільськогосподарських тварин (для бджіл мало небезпечний, але при обробці рослин їх ізолюють на 1 добу). Не знижує активності мікробіопрепаратів. Гранично допустимий рівень в овочах, фруктах і ягодах 1,0 мг/кг.

**Прометрин**, гезагард 50, селектин, системний гербіцид. Випускають 50 %-вий змочуваний порошок. Застосовують для знищення більшості однорічних бур'янів (грицики, зірочник, рутка, редька дика, гулявник та ін.) у посівах бавовнику, гороху, сої, квасолі, рицини, соняшнику, картоплі, кропу, селери, петрушки, коріандру, лаванди і інших рослин. Поля обприскують до посіву, одночасно з ним, до появи сходів культури або до її відростання. Норма витрати препарату 2–6 (для коріандру 4–8) кг/га. Малотоксичний для людини і тварин. Граничнодопустимий рівень прометрину в картоплі і овочах 0,1 мг/кг (у моркви не допускається).

**ТХАН**, ТСА, трихлорацетат натрію, гербіцид. Випускають 90 %-вий розчинний порошок. Застосовують для знищення однорічних та багаторічних бур'янів родини злаків. Витрата (л/га д.р.): при вирощуванні буряків цукрових, столових і кормових, моркви, цибулі, гороху – 4,5–12,6 (обприскування ґрунту до посіву); у посадках плодових зерняткових культур не молодше 4 років 13,5–18,0 (ранньою весною до сходів бур'янів) або 26,1–36,0 (під пізню культивуацію); на полях, призначених під картоплю, капусту, буряки, моркву, огірки – 20,7–40,0 (наприкінці літа або восени); під посів льону-довгунця – 20–30 (обробка в післязбиральний період); під посів бавовнику – 90–108 (на полях, засмічених бур'янами); під насінневі посіви багаторічних трав – 40,5–45,0 (обробка наприкінці літа або восени, після оранки або культивуації на глибину залягання кореневищ, з подальшим посівом не раніше червня наступного року); перед висадкою розсади тютюну – 14–15; перед посівом махорки – 7–8. Малотоксичний для теплокровних тварин.

**Цинеб**, перозин – хімічний препарат для боротьби з комплексом хвороб рослин, фунгіцид. Випускають 80 %-вий змочуваний порошок (перозин – 75 %-вий змочуваний порошок). Застосовують для обприскування рослин, внесення в ґрунт і для обробки посадкового матеріалу. Норми витрати при обприскуванні (кг/га): яблуня, груша, абрикоса, черешня, слива, вишня (парша, клястероспориоз та ін. плямистості) – 4–8; смородина (крім чорної), агрус (антракноз, септоріоз та ін.) – 3,2–4,0; малина 4–6; виноград (мільдю) – 6, картопля і томати (фітофтороз) 2,4–3,2; буряки цукрові, кавуни і дині (пероноспороз,

церкоспороз та ін.) – 3,2–4,0; на безвисадкових насінних буряки цукрові – 2–4; огірки, рапс і цибуля (пероноспороз) – 2–4; пшениця (іржа) – 3–4, рис (пірікуляріоз) – 3; при внесенні в ґрунт цинеб використовують на капусті (кила) – 20–25; на томати, перці, баклажанах (кореневі гнилі) – 50. Норма витрати при обробці бульб насінневої картоплі (проти фітофторозу, парші та мокрої гнилі) 0,5–1,0 кг/т.

Малотоксичний для людини і тварин. ГДК у воді рибогосподарських водойм – 0,0004 мг/л, у водоймах санітарно-побутового користування – 0,03 мг/л, у ґрунті 0,2 мг/кг, у повітрі робочої зони – 0,5 мг/м<sup>3</sup>. Граничнодопустимий рівень у картоплі – 0,1 мг/кг, у зернових – 0,2 мг/кг, у інших рослинних харчових продуктах – 0,6 мг/кг, в малині, смородині, агрусі залишків не допускається. Остання обробка рослин – за 20 діб, винограду – за 4 доби до збирання врожаю.

**2,4-Д амінна сіль**, аналоги – 2,4-Д, дезормон, дікопур Ф, луварам. Діюча речовина – диметиламінна сіль 2,4-Д.

Безбарвна гігроскопічна кристалічна речовина. Добре розчинна у воді (311 мг/л), етанолі, метанолі. Технічний препарат випускають у формі водорозчинних концентратів бурого кольору, із запахом дихлорфенолу. У металевій або поліетиленовій тарі термін зберігання без втрати гербіцидних властивостей практично необмежений. Середньотоксичний для теплокровних тварин і людини. Малотоксичний для бджіл та інших корисних комах при застосуванні до квітання бур'янів. Забороняється використовувати в межах санітарної зони рибогосподарських водойм.

2,4-Д амінна сіль – післясходовий системний гербіцид вибіркової дії. Застосовується проти вегетуючих однорічних і багаторічних двосім'ядольних бур'янів у посівах пшениці, жита, вівса, ячменю, проса в нормі 0,9–1,7 л/га. Спостерігається поява резистентності в окремих видів бур'янів. Стійкість проти цього гербіциду виявляють ромашка непахуча, волошка синя, підмаренник чіпкий, дискуранія Софії, зірочник середній, мак-самосійка, куколиця біла та багаторічні двосім'ядольні види. Зареєстрований і дозволений для використання в Україні.

**Далалон**, пропінат – системний гербіцид. Випускають 85%-вий розчинний порошок. Застосовують у посівах льону, буряків, картоплі, бавовнику, в садах (не молодше 3–4 років), ягідниках, на виноградниках, сінокосах і пасовищах для знищення однодольних багаторічних (пирій, сорго, свинорій) і однорічних (вівсюг, мишій, куряче просо) бур'янів і хвоща.

Поля обприскують після зяблевої оранки, ягідники – наприкінці літа, сади – протягом вегетації (не більше двох обробок за сезон, уникаючи попадання на культурні рослини), сінокоси і пасовища – протягом вегетації (випас худоби і скошування трав дозволяється не раніше ніж через 40 діб після обробки).

Норма витрати препарату (кг/га д.р.): на полях і в ягідниках – 8,5–17,0 (для бавовнику – 34–47); в садах 4,0–8,5; на сінокосах і пасовищах – 10,2–20,4.

Малотоксичний для людини і тварин. Граничнодопустимий рівень у фруктах 1 мг/кг.

**Карбофос**, малатион, фосфотіон – хімічний препарат для захисту рослин від шкідливих комах (інсектицид контактної дії). Випускають 50%-ву концентровану емульсію або 40%-вий розчин для УМО.

Застосовують (до двох разів) для обробки проти сисних і гризучих шкідників (кг/га д.р.): зернових культур – 0,25–0,60, бавовнику, буряків цукрових – 0,3–0,6; льону – 0,2–0,4; яблуні, груші, сливи, черешні – 0,5–1,5; смородини, агрусу, малини – 0,5–1,3; винограду – 0,5–1,3; овочевих культур – 0,3–0,6. Останнє обприскування – не пізніше ніж за 20 діб до збирання врожаю.

Середньотоксичний для людини і тварин. Граничнодопустимий рівень в овочах, фруктах та інших рослинних продуктах 1,0 мг/кг, в зерні – 3,0.

**Пропанід**, ДЦПА, ріг, рогыю, суркопур – контактний гербіцид. Випускають 30%-вий концентрат емульсії і 50%-вий водний розчин. Застосовують для знищення однодольних злаків-бур'янів (куряче просо, мишій та ін.) У посівах рису і коріандру. Поля рису обприскують у фазі 1–4 листків (забороняється розводити рибу в чеках), коріандру – у фазі 2–3 дійсних листків.

Витрата препарату (кг/га): 30%-вого для рису 16,7–30,0, для коріандру – 13,3–20; 50%-вого препарату для рису 6–10 кг/га. Високотоксичний для людини і тварин. Граничнодопустимий рівень у зерні рису – 0,3 мг/кг.

**Симазин**, радокор – системний гербіцид. Випускають 50%-вий і 80%-вий змочуваний порошок. Застосовують для знищення головним чином однорічних бур'янів у ранніх фазах розвитку (амброзії полинолистої, берізки, зірочника середнього, підмаренника, курячого проса, шпегелю, щетинника та ін.) в посівах кукурудзи, пшениці та жита озимих, в зерняткових і кісточкових садах, на плантаціях цитрусових, троянд ефіроолійних і лаванди, в ягідниках (старше 3 років).

Поля обприскують до посіву або до появи сходів культури; сади, ягідники і цитрусові – рано навесні до сходів бур'янів або восени після оранки; троянди і лаванди – пізньої осені. Витрата препарату (кг/га д.р.): 1,5–6,0 для посівів кукурудзи, 0,25 для озимих, 2–4 для садів, ягідників і плантацій цитрусових (3–6 при осінній обробці), 2 для плантацій троянд і лаванди.

Малотоксичний для людини і тварин. Граничнодопустимий рівень у фруктах 0,02 мг/кг (винограді 0,05 мг/кг), у зерні 1, плодах томатів 1,5 мг/кг.

**Трефлан**, нітран, трифлуралін – системний гербіцид. Випускають 25%-вий концентрат емульсії. Застосовують для знищення однодольних і дводольних однорічних бур'янів (курячого проса, мишю сизого, костра житнього, щиріці, мари білої та ін.). У посівах бавовнику, сої, рицини, соняшнику, капусти і помідор. Поля обприскують до посіву, одночасно з посівом або до сходів і висадки розсади культури (гербіцид закладають у ґрунт). Норма витрати препарату (кг/га д.р.): 1,0–2,5 – для технічних культур і капусти, 1–2 – для часнику, тютюну і томатів, 3 – для коріандру.

Малотоксичний для людини і тварин.

**Хлорофос**, Байер Л-13/59, ділокс, Ділон, діптерекс, негувон, тугон, трихлорофон, тріелорфен, флібол Е, формітокс.

Хімічно чистий білий кристалічний порошок; розчинний у воді (12 %), бензолі, хлороформі, ефірі. Технічний хлорофос – біла з жовтуватим відтінком кристалічна речовина, з різким специфічним запахом (містить 82-87 % АДВ); розчинний у воді (16 %) і в органічних розчинниках.

Хлорофос випускають у вигляді 97 % і 80 % технічного препарату, 80 % і 50 % змочуваних порошків, 5–7 % дустів.

Зберігають з пересторогою (список Б) в добре закупореній тарі.

Хлорофос – ефективний інсектицид контактної дії. Основою його інсектицидної дії є блокування холінерастери. Легко всмоктується з кишечника, а також через шкіру і слизові оболонки.

Використовують для боротьби з пасовищними та іншими кліщами, мухами, комарами, мокрицями, вошами, клопами, блохами, тарганами, личинками підшкірного овода та іншими комахами.

Застосовують хлорофос шляхом поливання, обприскування і втирання в шкіру тварин у вигляді 1–3 % розчинів. Для дезінфекції приміщень використовують 0,5–1,0 % розчини з розрахунку 1 г препарату на 1 м<sup>2</sup>. Місця виплоду мух обсипають 5 % дустом або 10 л дустом або поливають 10 л 1 % розчином на мінеральній олії. Крім того, хлорофос застосовують при ряді гельмінтозів (остертагіоз, гемонхоз, тріхостронгілез овець); вводять усередину по 60 мг на 1 кг маси тварини. Великій рогатій худобі при буностомозі, гемонхозі та трихоцефальозі вводять під шкіру по 20–30 мг на 1 кг маси тварини.

При геменолепідозі і дрепанідотеніозі качкам застосовують всередину суміш хлорофосу і фенотіазину (8 мг хлорофосу і 30 мг фенотіазину на голову).

Забій тварин, оброблених хлорофосом, дозволяється через 3 тижні після обробки.

**Ялан**, гідрам, ордрам – системний гербіцид. Випускають 72%-вий концентрат емульсії (ордрам 6 Е) і 10%-вий гранульований препарат.

Застосовують у посівах рису для знищення курячого проса та інших бур'янів. Ялан загортають у ґрунт до посіву культури або вносять у ґрунт до посіву без загортання. Норми витрати залежать від форми препарату і способу внесення.

Середньотоксичний для людини і тварин. Граничнодопустимий рівень у зерні рису 0,2 мг/кг.

**БІ-58**, рогор, диметоат, фосфамид – хімічний препарат для захисту рослин від шкідливих комах (інсектицид системної дії). Форма застосування – 40 % концентрат емульсії (обприскування рослин у період вегетації) і 1,6 % гранульований препарат (внесення в ґрунт з насінням).

Норми витрати (кг/га д.р.): при обприскуванні (до двох разів): зернових колосових 0,28–0,60, зернобобових, буряків цукрових та кормових, льону – 0,2–0,4; бавовника – 0,6–1,0; капусти 0,8–2,4; огірків (розсади) 0,8–2,4; томатів (розсади) 0,3–0,6; яблуні, груші – 0,3–1,6; сливи, вишні – 0,5–1,2. Останній термін застосування – за 30 діб до збирання врожаю (бавовнику – за 15 діб).

Норми витрати при внесенні в ґрунт (кг/га д.р.): буряків цукрових 1,6–2,4; люцерни 0,4–0,8; кормових капустианих 0,3; маку олійного 0,8–1,2.

**Атразин**, Сайлазин, пітезин – системний гербіцид. Випускають 50%-вий змочуваний порошок, 15%-ві і 20%-ві масляні розчини. Застосовують у посівах кукурудзи, проса, коріандру, в яблуневих і грушевих садах, ягідниках (смородина, малина, агрус) для знищення однодольних (крім просоподібних) і дводольних бур'янів (амброзія полинолиста, шпергель польовий, свинорій, грицики, талабан та ін.).

Поля обприскують атразином восени після зяблевої оранки або навесні до появи сходів культурних рослин, а сади – навесні до сходів бур'янів і восени після збирання врожаю. Норма витрати препарату: 1,5–4,0 кг/га д.р. на полях і 2–6 кг/га д.р. у садах.

Малотоксичний для людини і тварин. Граничнодопустимий рівень у фруктах, овочах та зерні – 0,1 мг/кг, у м'ясі і молоці – 0,02 мг/кг.

**Гексахлорбутадиєн (ГХБД)**, Перхлордивініл – хімічний препарат, який застосовують як фумігант. Випускають 94%-вий технічний препарат, який використовують для фумігації виноградників проти філоксери при нормі витрати 100–350 кг/га.

Сильнодіюча отруйна речовина. Вміст гексахлорбутадиєну у винограді та виноградному соку не допускається, у виноградному вині – не більше 0,01 мг/кг.

**ДДТ** (повна хімічна назва – дихлор-дифеніл-трихлоретан) – хімічний препарат інсектицид, широко застосовувався в 40–60-х роках ХХ ст. в багатьох країнах для боротьби зі шкідливими комахами. Дуже стійка сполука, здатна накопичуватися в навколишньому середовищі, забруднювати його і порушувати біологічну рівновагу в природі; небезпечна для людини і тварин (викликає хронічні отруєння).

Повсюдно заборонений (у СРСР – з 1970 р.), але і цього часу цей препарат знаходять у ґрунті і в природній воді, тому він не виключений із числа можливих забрудників.

**Поліхлоркамфен (ПХК)**, токсафен – хімічний препарат для захисту рослин від шкідників (інсектицид кишкової і контактної дії). Випускають 50%-вий концентрат емульсії. Застосовують для боротьби зі шкідниками насінників багаторічних трав і з довгоносиками на буряках цукрових (одноразове обприскування). Норма витрати 1,6–3,0 л/га.

Середньотоксичний для людини і для більшості тварин; має підвищену токсичність для гусей, випас яких на оброблених ПХК ділянках не допускається, для риб; для бджіл та інших запилювачів не є небезпечним. Заборонено згодовувати худобі бадилля буряків цукрових, а також переробляти горох на борошно раніше ніж через 75 днів після обробки ПХК. Граничнодопустимий рівень у картоплі і буряках цукрових – 0,1 мг/кг, у кормах (тільки для відгодовування тварин) концентрованих і грубих – 1,0 мг/кг, соковитих – 0,5 мг/кг. ГДК у повітрі робочої зони – 0,5 мг/м<sup>3</sup>.

**Поліхлорпінен (ПХП)** – хлорорганічний інсектоакарицид. Випускають у вигляді 65%-вої емульсії. Водні емульсії поліхлорпінену застосовують для

знищення бурякового довгоносіка, личинок і лялечок кімнатних мух, а також для захисту тварин від ектопаразитів і гнусу.

Поліхлорпінен середньотоксичний; має кумулятивні властивості. Заборонено для обробки дійних корів і телят. При попаданні в організм тварин з кормом поліхлорпінен викликає отруєння (частіше в овець і у великої рогатої худоби), симптоми якого з'являються через 20–50 хв після попадання його в шлунок. Спочатку відзначають підвищену рефлекторну збудливість, потім – тремор, напади тоніко-клонічних судом і гіперсалівацію; у міру розвитку інтоксикації – паралічі і парези. У важких випадках тварини гинуть через 6–8 год після отруєння.

**Севіньї**, карбаріл, нафтілкарбамат – хімічний препарат для захисту рослин від комах шкідників (інсектицид контактної дії). Випускають 85%-вий змочуваний порошок. Застосовують проти яблуневої і сливової плодожерок, бавовняної совки і карадріна, листовійок, пильщика, довгоносіків, попелиць та ін. Витрата (кг/га д.р.): кукурудза і бавовник – 1,7–2,1; яблуня – 0,8–2,1 (обприскування не більше двох разів, бавовнику – до чотирьох разів). Севіньї доцільно використовувати спільно з акарицидами; не можна комбінувати з бордоською рідиною, вапняно-сірчанім відваром, маслами. Севіньї може викликати в яблуні опадання частини зав'язі, тому застосовувати його слід не раніше ніж через 30 діб після квітання. Обробку садів закінчують за 45 діб до збирання врожаю, кукурудзи – за 20 і бавовнику – за 7 діб.

Високотоксичний для людини і тварин. Залишки Севіньї в ґрунті і рослинних продуктах не допускаються, граничнодопустимий рівень у кормах – не більше 3,0 мг/кг.

**Метафос**, вофатоксом, метілпаратіон, хімічний препарат для боротьби з комахами – шкідниками сільськогосподарських культур (інсектицид контактної дії). Випускають 40%-вий концентрат емульсії. (Вофатоксом – 18%-вий змочуваний порошок, метілпаратіон – 50%-вий концентрат емульсії).

Ефективний проти багатьох видів шкідників (клоп-черепашка, хлібні жуки, зернова сопка, шкідливі саранчові та ін.). Норми витрат при обприскуванні (л/га): зернових 0,5–1,0; рису 0,5–0,75; буряків цукрових 0,5–1,0; плодових культур 0,75–1,0; ягідних 0,4–1,0; винограду 1,25–1,50; цитрусових 1,0–2,5. Застосовувати метафос дозволяється не більше ніж 2–3 рази, не пізніше ніж за 30 діб до збирання врожаю (за винятком ягідних культур, які обробляють тільки до квітання).

Препарат належить до сильнодіючих отруйних речовин; токсичний для бджіл. Залишки метафосу в харчових продуктах не допускаються.

**Гептахлор**, велзікол, гептамюль, хлорорганічний інсектицид і протруювач насіння. Препаративна форма – 25%-ва емульсія. Високотоксичний (ЛД<sub>50</sub> для щурів 90 мг/кг). В організмі тварини окислюється до персистентного, ще більш токсичного епоксиду (ЛД<sub>50</sub> 15 мг/кг). Уміст гептахлору в кормах не допускається.

**Гексахлорциклогексан** (ГХЦГ), гексахлоран, бензогексахлорід, вермексан, гаммексан, пультокс, препарат б66, хлорорганічний інсектицид комплексної дії. Застосовується в рослинництві і тваринництві. Випускають у

формі технічного препарату, 12%-вого дусту, 25%-вого порошку на фосфоритному борошні, емульсії, аерозолі і димових шашках.

Для теплокровних тварин – середньотоксичний (ЛД<sub>50</sub> для лабораторних тварин – 300–500 мг/кг). Мінімальна смертельна доза для кроликів – 600 мг/кг, овець – 500 мг/кг, дорослої великої рогатої худоби – 200 мг/кг, коней – 100 мг/кг. Молодняк, особливо телята, значно вразливіші за дорослих тварин.

Вміст залишків ГХЦГ у продуктах тваринного походження не допускається. У кормах для молочної худоби і яйценосної птиці допускається вміст ГХЦГ не більше 0,05 мг/кг, для тварин, які відгодовують, – не більше 0,2 мг/кг.

**Гранозан** – хімічний препарат контактної дії, застосовуваний для захисту рослин від хвороб, які викликають фітопатогенні гриби і бактерії; протруйник насіння. Випускають 1,8–2,3%-вий дуст з барвником. Норми витрати (кг/т): пшениця, жито – 1–2; ячмінь – 1,5–2,0; просо – 1; льон – 1,5; рис, рицина – 2; буряки цукрові – 2–4 (обробка насіння водною суспензією або зі зволоженням – 10 л води на 1 т; льон – 3–5; рицина 15 л на 1 т).

Сильнодіюча отруйна речовина.

## 2.5. Оцінка якості води за вмістом фенолів, ціанідів, нафтопродуктів та детергентів

Якість води оцінюють за еколого-гігієнічними та еколого-токсикологічними показниками – вмістом фенолів, ціанідів, нафти та нафтопродуктів, детергентів, щоб запобігти зниженню здатності ґрунтів до самоочищення, а також – погіршенню гігієнічного стану та харчової якості сільськогосподарської продукції. Вміст цих речовин у зрошувальній воді лімітовано за показниками ФТ та СТ. Воду вважають придатною для зрошення, якщо вміст цих речовин не перевищує ГДК (табл. 2.6).

*Таблиця 2.6 – Граничнодопустимі концентрації фенолів, ціанідів, нафти, нафтопродуктів та детергентів у зрошувальній воді (ДСТУ 7286:2012)*

Речовина	ГДК у зрошувальній воді, мг/л
Феноли	0,005
Ціаніди	0,05
Нафта багатосірчана	0,2
Нафта інша та нафтопродукти	0,3
Детергенти	0,1

**Феноли** – клас хімічних сполук, у молекулах яких присутня гідроксильна група-ОН, приєднана до ароматичної групи.

Найпростішим із цього класу хімічних сполук є фенол ( $C_6H_5OH$ ).

За кількістю ОН-груп розрізняють:

- одноатомні феноли – фенол ( $C_6H_5OH$ );
- двоатомні феноли – гідрохінон, пірокатехін, резорцин і т. д.

Феноли мають слабкокислотні властивості, зокрема утворюють соленодібні продукти – феноляти.

Феноли виділяють з кам'яновугільної смоли, синтезують гідролізом відповідних галогенопохідних та іншими способами.

Застосовують феноли у виробництві синтетичних смол, поліамідів та інших полімерів, лікарських препаратів, барвників, поверхнево-активних речовин, антиоксидантів.

Феноли при потраплянні в організм людини призводять до різких змін у клітинах кровотворної, хрящової та кісткової тканин.

**Ціаніди (ціаністи метали)** – солі синильної кислоти. У практичному відношенні особливо важливі ціаніди лужних металів – калію, натрію, які одержують різними способами, наприклад прожарюванням суміші коксу і поташу в атмосфері азоту. Найбільше значення має ціанід калію (ціаністий калій).

Ціаніди калію і натрію мають здатність розчиняти срібло і золото у присутності кисню повітря. На цьому засновано їх застосування для вилучення вказаних металів із руд, крім того, вони використовуються в органічному синтезі, при гальванічному золоченні і срібленні, у фотографії тощо.

Ціаніди натрію і калію на повітрі в присутності вологи легко розкладаються з виділенням синильної кислоти. Летальна доза ціанідів натрію і калію – близько 2–3 мг/кг. Надходять в організм через органи дихання і шлунково-кишковий тракт, дуже швидко всмоктуються через слизові оболонки. Унаслідок високої спорідненості до тривалентного заліза вони блокують внутрішньоклітинний залізовмісний фермент цитохромоксидазу, що перешкоджає утилізації тканинами кисню. Утримання кисню у венозній крові різко підвищується, артеріовенозна різниця майже зникає.

При високих концентраціях ціанідів протягом короткого часу настає втрата свідомості, судоми, смерть від паралічу дихання або серця.

При більш низьких дозах у клініці отруєнь можна виділити чотири стадії. Перша – початкові ознаки: запаморочення, головний біль, відчуття жару, теплоти в епігастральній ділянці, нудота, блювота, оніміння язика, губ, позиви на дефекацію, відчуття стиснення в грудях, прискорене дихання. Видихуване повітря і блювотні маси мають запах гіркої мигдалю. Характерне рожеве забарвлення шкіри. Друга стадія – діспноетична: ритм дихання порушений, задишка, біль в області серця, почуття страху, брадикардія, екзофтальм, мідріаз. У третій, конвульсивній стадії, свідомість втрачено, судоми, тризм. У четвертій, паралітичній стадії, розлад дихання наростає (поверхнєве, рідке), артеріальна гіпотензія, аритмія пульсу. Смерть настає від паралічу дихального центру.

**Нафта** – горюча корисна копалина, складна суміш вуглеводнів різних класів з невеликою кількістю органічних кисневих, сірчистих і азотних сполук, що являє собою густу олійсту рідину. Забарвлення в неї червоно-коричнєве, буває жовто-зелене і чорне, іноді зустрічається безбарвна нафта. Нафта має характерний запах, легша за воду, у воді нерозчинна.

Елементний склад, %: вуглець 80–88; водень 11,0–14,5; сірка 0,01–5,00; кисень 0,05–0,70; азот 0,01–0,6. Густина – 760–990 кг/м<sup>3</sup>



Нафта – найважливіше джерело рідкого палива, мастил, є сировиною для синтетичних матеріалів тощо.

У зрошувальні води потрапляє досить рідко, а саме при її транспортуванні та скиданні стічних вод.

**Нафтопродукти** – це продукти, одержані внаслідок переробки нафти на нафтопереробних заводах:

1) світлі нафтопродукти:

- бензин, уайт-спірит;
- лігроїн;
- гас;
- дизельне паливо, газойль;

2) темні нафтопродукти:

- мазут;
- олива (суміш високомолекулярних нафтових вуглеводнів, що використовуються в техніці як змащувальний, електроізоляційний, консерваційний матеріал та робоча рідина);
- мастило (структурована загусником олива, що застосовується для зменшення тертя, консервації виробів та герметизації ущільнень);
- вазелін, парафін, церезин;
- гудрон, бітуми нафтові, асфальт, асфальтени;
- нафтовий кокс, пек.

Більшість нафтопродуктів нерозчинні у воді і знаходяться на її поверхні у стані спокою, але при інтенсивному водозаборі із вододжерел відбувається інтенсивне перемішування води, в тому числі і нафтопродуктів.

**Детергенти – поверхнево-активні речовини (ПАР)** – хімічні сполуки, що знижують поверхневий натяг води і використовуються як миючі засоби або емульгатори. Дуже поширені хімічні забруднювачі води, водойм, ґрунту і небезпечні для людини, тварин і рослин. Це речовини, молекули або іони яких концентруються під дією молекулярних сил (адсорбуються) біля поверхні розділу фаз і знижують поверхневу енергію. У вужчому значенні поверхнево-активними речовинами здебільшого називають речовини, що знижують поверхневий натяг на межі поділу: рідина (вода) – повітря (пара), рідина (вода) – рідина (олія), рідина – тверда поверхня.

Поверхнево-активні речовини – зазвичай амфіфільні органічні сполуки (термін «амфіфільні» означає, що вони містять як гідрофільні групи («головки»), так і гідрофобні групи («хвости»). Через таку будову вони розчиняються як у неполярних жирах і органічних розчинниках, так і в полярних середовищах (воді).

## **2.6. Оцінка санітарно-бактеріологічної безпеки зрошувальної води**

Зрошувальну воду оцінюють за небезпекою погіршення санітарно-бактеріологічного стану природного середовища, щоб запобігти прямому негативному впливу на стан агроєкосистеми та навколишнього природного

середовища, а також – непрямому впливу на здоров'я людини, тому, згідно зі САНПІН 4630, гігієнічні вимоги до зрошувальної води такі самі, як і до води господарчо-питного водокористування.

Воду вважають придатною для зрошення, якщо вона відповідає таким вимогам:

- колі-індекс не повинен перевищувати 1000 од. в 1 л;
- індекс колі-фагів не повинен перевищувати 100 од. в 1 л;
- вміст епідеміологічно небезпечних збудників тифу, паратифу, патогенних ешерихій, сальмонел не допускається;
- вміст життєздатних яєць гельмінтів не допускається.

**Колі-індекс** - кількість лактозопозитивних кишкових паличок (*Escherichia coli*) в 1 л (г) досліджуваного об'єкта (води, ґрунту, харчових продуктів). Кишкову паличку використовують як санітарно-показовий (індикаторний) мікроорганізм фекального забруднення об'єктів, а її кількість (колі-індекс) характеризує ступінь забруднення об'єкта.

Наприклад встановлено, що питна вода безпечна в епідеміологічному відношенні, якщо колі-індекс становить менше 3 (3 кишкові палички в 1 л води). Таке саме значення колі-індексу допускається для води очищеної, яку використовують при виготовленні лікарських препаратів, і до якої не висуваються вимоги стерильності. Якщо для зрошувальної води нормування колі-індексу значно знижене (1000 од. в 1 л), вважається, що під дією сонячної радіації більшість бактерій буде знищено.

**Колі-фаги** – бактеріофаги (віруси бактерії), які заражають бактеріальну клітину, розмножуються в ній і вбивають її. Зазвичай колі-фаги живуть у коліморфних бактеріях.

Бактеріофаги є також індикаторами якості води (ступеня очищення води) через схожість з кишковими вірусами (ентеровірусів) людини. Вони досить добре виявляються.

Найбільш вивчені дві групи: соматичні колі-фаги, які інфікують штами організму – господаря (*E.Coli*) через рецептори клітинних стінок; і F-специфічні РНК-бактеріофаги, які інфікують штами *E.Coli* та споріднені бактерії через F-фібрії або секс-фімбрії. Ці групи присутні у великій кількості в стічних водах. У свіжих фекаліях людини їх вміст невеликий.

Колі-фаги також ефективні як індикатори і через їх велику персистентність (здатність зберігати життя поза тілом «господаря»). Колі-фаги – додатковий критерій ефективності очищення води.

До харчових інфекційних хвороб людини відносяться: **черевний тиф** та **паратифи**, **дизентерія**, **холера**. Збудниками цих хвороб є бактерії родів *Salmonella*, *Shigella*, *Vibrio*. Харчові інфекційні хвороби, для яких джерелом інфекції є людина, часто носять груповий характер. Механізм передачі фекально-оральний. Шляхи поширення можуть бути різними: харчовий, водний, контактано-побутовий.

**Черевний тиф** та **паратифи** А і В – інфекційні хвороби, збудниками яких є відповідно *Salmonella typhi*, *Salmonella paratyphi* та *Salmonella schottmuelleri*. Супроводжуються вони патогенетичними та клінічними проявами, які

характеризуються ураженнями лімфатичної системи кишечника та вираженою інтоксикацією.

**Сальмонели** – дрібні (2–3×0,5–0,7 мкм) грамнегативні палички із заокругленими кінцями. У мазках виявляється мікрокапсула, рухаються за допомогою перетрихіальних джгутиків.

Сальмонели – факультативні анаероби, ростуть на простих поживних середовищах при 37°C, рН 7,2–7,4. Можуть розвиватися в межах від 6 до 46 °С. При рН 5–8 і температурі 20 °С здатні розмножуватися, але значно повільніше, ніж при оптимальних умовах росту. На поверхні м'ясо-пептонного агару в чашках *Петрі* сальмонели утворюють гладенькі, круглі, випуклі, напівпрозорі вологі колонії з металевим блиском, іноді з трохи вдавленим центром (*S*-форма). Багато серологічних типів сальмонел утворюють на м'ясо-пептонному агарі навколо колонії слизистий вал – феномен валоутворення. Поряд з *S*-формами, сальмонели утворюють *R*-форми колоній – шорсткі, мутні, сухі.

Біохімічна активність сальмонел досить висока, але вони синтезують меншу кількість ферментів, ніж *E. coli*, зокрема не ферментують лактозу. *S. typhi* менш активні, ніж збудники паратифів: вони ферментують ряд вуглеводів без утворення газу.

Сальмонели утворюють ендотоксин, який здійснює ентеротропну, нейротропну та пірогенну дію. Білки зовнішньої мембрани, зв'язані з мікрокапсулою, обумовлюють адгезивні властивості, стійкість до фагоцитозу.

За межами організму сальмонели характеризуються високою стійкістю до дії різних факторів зовнішнього середовища. Вони добре переносять низьку температуру, витримують заморожування протягом декількох місяців. У холодній стоячій воді зберігаються протягом 2-х років, у водопровідній – до 3 місяців, у ґрунті – від 1 до 9 місяців. Сальмонели швидко гинуть під дією високої температури: при 70 °С – через 5–10 хв, при кип'ятінні – миттєво.

**Гельмінти** – загальна назва паразитичних черв'яків, що паразитують в організмі тварин (царство *Animalia*), людини (наприклад, у кишечника або порожнині тіла, чи в інших тканинах) і спричиняють гельмінтози (гр. *helminthos*). Вивченням гельмінтів займається *гельмінтологія*, проблемами зараження гельмінтами людей, хворобами, які вони спричиняють, займається медична паразитологія.

Ще в давнину люди виявляли в організмі домашніх тварин різних розмірів хробаків (черв'яків), помічали їх і в людини. У давньоєгипетському папірусі *Еберса* є перші відомості про хворобу, яку, як нині відомо, спричиняють шистосоми. Перші наукові описи деяких паразитичних черв'яків (глистів) зробив *Гіппократ* (*гострик*, *аскарида*, *ехінокок*), який ввів у медицину терміни «гельмінт» і «гельмінтоз».

На сьогодні відомо, що 384 види гельмінтів здатні паразитувати у людини:

- 207 видів відносять до типу плоских черв'яків, класів стьожкових черв'яків й сисунів/смоктальників (підкласу дігенеї);
- 146 видів – до типу круглих черв'яків;
- 24 види – до типу волосатиків;
- 7 видів – до типу скребликів.

Вони здатні спричиняти хвороби у тварин і людей, які наносять величезну шкоду здоров'ю, зумовлюють значний економічний збиток.

Основні шляхи мікробіологічного забруднення водного середовища:

- надходження мікроорганізмів разом зі стічними та оборотними водами;
- надходження біогенних речовин, які спричиняють розвиток мікроорганізмів.

Надходження до водного середовища органічних речовин або біогенних сполук (перш за все нітратів та фосфатів) викликає бурхливий розвиток окремих груп мікроорганізмів. Мікрофлора стічних вод складається з мешканців кишківника людини і тварин (як нормальної мікрофлори, так і патогенної), специфічних мікроорганізмів, розвиток яких супроводжують виробничі процеси (промивні води тваринницьких комплексів, харчових переробних комбінатів).

## 2.7. Нормування радіоактивного забруднення зрошувальної води

**Радіоактивне забруднення** – форма фізичного забруднення, яке пов'язане з перевищенням природного радіоактивного фону водного середовища. При цьому *природний радіоактивний фон* – це рівень іонізуючого випромінювання, який створюється космічними джерелами та природними радіоактивними елементами, розчиненими та зваженими у водному середовищі.

Причини радіоактивного забруднення водних екосистем:

1. Природні джерела:

- природні радіоактивні аномалії.

2. Штучні джерела:

- скиди радіоактивних речовин у водойми та їх надходження до підземних вод;
- випробування ядерної зброї.

**Природна радіоактивність** вод зумовлена переходом радіонуклідів із гірських порід унаслідок розчинення нестійких мінералів або їх вилуговування (перехід хімічних елементів без порушення їх кристалічної структури).

Фонова *бета-активність* природних вод на 50–90 % обумовлена  $^{40}\text{K}$ , а *альфа-активність* найбільший внесок дають  $^{234,238}\text{U}$ ,  $^{224,226}\text{Ra}$ ,  $^{222}\text{Rn}$  та  $^{220}\text{Th}$ . Залежно від джерела витоку радіоактивний склад води може значно відрізнятися. Зокрема, вода з колодязів характеризується переважанням  $^{234}\text{U}$ , а вода з артезіанських свердловин –  $^{224}\text{Ra}$ .

Радіоактивність природної води змінюється в широких межах і залежить від:

- радіоактивності, що містять гірські породи та ґрунти;
- інтенсивності їх вивітрювання;
- механізму виносу радіонуклідів водою з порід (при слабкому водообміні радіоактивність води більша);
- гідрогеологічних умов;
- хімічного складу води;
- форми знаходження радіонуклідів у воді;

- близькості берегів;
- глибини водойми;
- кліматичних умов.

Як наслідок, мінливість радіоактивності води навіть одного типу в межах певної кліматичної зони може сягати одного порядку. Тому складно встановити універсальні нормативи радіологічної якості води. Наприклад, на півночі України атмосферні опади переважають над випаровуванням. Тому тут переважають гідрокарбонатно-кальцієві води з незначною загальною мінералізацією (0,1–0,2 г/дм<sup>3</sup>). У південних посушливих районах, де випаровування переважає над опадами, поширені сульфатно-хлоридно-натрієво-кальцієві води з мінералізацією до 3 г/дм<sup>3</sup>. Відповідно до цього змінюється і радіонуклідний склад: збільшується вміст калію та урану (від 600 Бк/м<sup>3</sup> на півночі, до 100 000 Бк/м<sup>3</sup> на півдні).

**Таблиця 2.7 – Сумарна альфа- та бета-випромінення природних вод різного походження**

Тип природних вод	Альфа-випромінення, Бк/м <sup>3</sup>	Бета-випромінення, Бк/м <sup>3</sup>
Річки та озера	40-250	250–850
Підземні води	40–360	1 000–4 000
Колодязі	530	Біля 810
Артезіанські свердловини	3 600	2 550

**Штучні джерела радіоактивності вод.** Основною причиною штучного радіоактивного забруднення гідросфери є надходження радіоактивних відходів до водойм та підземних вод. До 1972 року скид радіоактивних відходів здійснювався без будь-якого міжнародного контролю. За цей час (з 1946 р.) США поховали в океані 25 000 т радіоактивних відходів. Великобританія (з 1949 р.) – 47 664 тис. т (виступає основним забруднювачем, до 75 % всіх скидів). Нині глибоководне захоронення відходів (*дампінг*) продовжується, незважаючи на низку міжнародних конвенцій (наприклад, біля узбережжя Сомалі, яке не контролює свої води). Крім того, у Світовому океані є затопленими 6 атомних підводних човнів, 9 атомних реакторів (корабельні, супутникові), 50 ядерних боєприпасів (аварії при запусках ракет).

Небезпека глибоководного дампування полягає в тому, що металеві контейнери починають руйнуватися через 10 років, бетонні – через 30 років.

Крім того, значне забруднення гідросфери спричиняють випробування ядерних зарядів. Усього з 1945 року було проведено понад 2 422 ядерних випробувань різного типу. Основна частка продуктів розпаду незалежно від виду вибуху в результаті перерозподілу та міграції на даний час зосереджено саме в гідросфері. Навіть підземні вибухи згодом призводять до вивільнення радіоактивних елементів підземними водами через тектонічні процеси.

Розподіл штучних радіонуклідів у водній оболонці Землі характеризується географічною неоднорідністю і відображує розташування джерел забруднення (табл. 2.8). На першому етапі радіонукліди концентруються в поверхневому шарі океану. У подальшому кількість радіонуклідів зменшується внаслідок переміщення поверхневих вод з глибинними океанічними водами. Середній час

перебування  $^{90}\text{Sr}$  у шарі перемішування Тихого океану – 3 роки, Атлантичного – 3,5 років. Найбільшими відмінностями характеризуються мілководні та внутрішні моря. Наприклад, води Чорного та Азовського морів характеризуються значно більшим вмістом  $^{90}\text{Sr}$  через надходження радіонуклідів з суходолу (головним чином із басейнів Дніпра та Дону) та ускладнений водообмін зі Світовим океаном.

**Таблиця 2.8 – Питома активність  $^{90}\text{Sr}$  та  $^{137}\text{Cs}$  у воді деяких океанів та морів, що відображує механізми їх забруднення (Гродзиський Д.М. 1992)**

Океан/море	$^{90}\text{Sr}$ , Бк/м <sup>3</sup>	$^{137}\text{Cs}$ , Бк/м <sup>3</sup>
Тихий океан	1,5–5,1	-
Японське море	2,0–10,3	-
Охотське море	2,0–5,5	-
Біле море	3,5–13,0	16–22
Баренцове море	2,8–11,5	3–9
Балтійське море	6,6–26,8	58–84
Каспійське море	7,3–20,3	-
Азовське море	20,4–41,7	2,0–5,5
Чорне море	17,3–53,8	20–23

Підтвердженням того, що основний внесок у радіоактивне забруднення Азовського та Чорного морів мають штучні джерела, є динаміка вмісту  $^{90}\text{Sr}$  у воді за останні 50 років. Висока активність морської води пов'язана з надходженням радіонуклідів ядерних випробувань. Мораторій на випробування протягом 10 років сприяв стрімкому зниженню радіоактивного забруднення води у 6 разів. Аварія на Чорнобильській АЕС у 1986 році викликала підвищення радіоактивності поверхневого шару води, максимум якого із запізненням досягнуто в 1988 р.

Радіаційна ситуація водних екосистем України визначається кількістю принесених радіонуклідів водотоками із забруднених басейнів. Головними постачальниками радіонуклідів після аварії на Чорнобильській АЕС є стоки річок Дніпра і його основних поліських приток Прип'яті, Десни і Тетерева. Нижня ділянка р. Прип'ять і верхня частина Київського водосховища були включені в 30-кілометрову зону відчуження. Нижче за течією Дніпро, його притоки та дніпровські водосховища стали головними шляхами перенесення радіонуклідів із забруднених територій у Чорне море.

Після Чорнобильської катастрофи найсуттєвішого радіонуклідного забруднення зазнали водні об'єкти басейну Дніпра. На початку, в перші дні, радіонукліди потрапляли у водостоки у складі прямих скидів забруднених радіонуклідами водних мас атомної електростанції або разом з атмосферними опадами із радіоактивних хмар. З часом надходження радіонуклідів у водотоки басейну Дніпра відбувалося внаслідок танення снігів та його змиву з водозбірних площ. Особливо активно відбувалися процеси перенесення радіонуклідів під час весняних повеней, коли посилювався змив з площі водозбору, перемішувалися донні відклади, і з ними у воду потрапляли радіонукліди. Кількість радіонуклідів, що надходили із забруднених територій, змінювалась і залежала

від водності року, формування дощових паводків і особливостей процесу сніготанення на площі басейну.

Потрапляючи у водні екосистеми, радіонукліди розподілялися між абіотичними компонентами довкілля (водою, донними й завислими відкладами) та гідробіонтами (Лось І.П., Войцехович О.В., Шепелевич К.И., 2001). У післяаварійний період найшвидше звільнилися від радіоактивного забруднення малі притоки Дніпра з досить високою швидкістю течії. У багатьох непроточних озерах Полісся радіонукліди накопичувались у донних відкладах. Ще складніші процеси, зумовлені міграцією радіонуклідів між водою, гідробіонтами і донними відкладами, відбуваються в дніпровських водосховищах, особливо в Київському. Водосховища дніпровського каскаду є своєрідними буферними накопичувачами радіонуклідів (Іванов Є.А. 2004). Однак найінтенсивнішого радіоактивного забруднення зазнала водойма-охолоджувач ЧАЕС (Лукашев Д.В. 2002).

Проведені радіоекологічні дослідження свідчать, що Київське водосховище є найбільш значущим акумулятором хімічних сполук басейну Верхнього Дніпра та зв'язаних із ними радіонуклідів

Радіоактивного забруднення зазнали і п'ять водосховищ, що розміщені нижче за течією р. Дніпро: Канівське, Кременчуцьке, Середньодніпровське, Дніпровське і Каховське (табл. 2.9). Найінтенсивніше забруднення донних відкладів усього дніпровського каскаду завершилося в 1988 році (Лукашев Д.В. 2002), коли істотно зменшився виніс радіонуклідів водами основних приток басейну Дніпра. На тлі істотного зниження виносу радіонуклідів водотоками чіткіше почав вимальовуватися процес перерозподілу радіоактивного забруднення по площі дна цих водосховищ.

**Таблиця 2.9 – Обсяги  $^{137}\text{Cs}$  у донних відкладах дніпровських водосховищ (Войцехович О.В., Лаптев Г.В., Канівець В.В. 1996, Огородніков А.В. 2002)**

Водосховище	Обсяги $^{137}\text{Cs}$ , ТБк	Щільність забруднення, пБк/км <sup>2</sup>
Київське	79,55	86,21
Канівське	37,00	54,76
Кременчуцьке	26,27	11,84
Середньодніпровське	4,26	7,40
Каховське	6,10	2,96

Як видно з табл. 2.9, на шляху водних мас до Чорного моря відбувається поступове зниження щільності радіонуклідів унаслідок розбавлення забруднених вод Дніпра чистими водами бокових приток, а також седиментації відкладів на дно водосховищ. Нині водні маси, які забруднюються у верхів'ях басейну Дніпра, на своєму шляху через всю ємність водосховищ дніпровського каскаду до Чорного моря втрачають майже 100 %  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$ .

Як уже згадувалося, у гострий період аварії на Чорнобильській АЕС головним забруднювачем довкілля і відкритих водойм був радіоактивний йод. Його вміст у воді р. Прип'яті перевищував 2 000 Бк/дм<sup>3</sup>. Водночас уміст  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$  становив 500–1 000 Бк/дм<sup>3</sup> і 5–30 Бк/дм<sup>3</sup>, відповідно (Гродзинский Д.М., 1992).

З часом активність радіонуклідів у водних екосистемах Дніпра швидко знижувалася.

Водотоки є головним шляхом транспортування радіонуклідів. Із збільшенням водності річки зростає і їх винос. Усі екстремальні підвищення концентрації  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$  були викликані сильними паводками і затопленням заплавл на р. Прип'ять, особливо в межах зони відчуження (1988, 1991, 1993, 1994, 1997, 1999 рр.), що простежувалося аж до Чорного моря (Войцехович О.В., Лантев Г.В., Канівець В.В., 1996, Огородніков А.В., 2002).

Незважаючи на значний ефект водоохоронного будівництва, радіоактивний стік з околиць ЧАЕС у р. Прип'ять буде і далі одним із найзначніших гідрологічних шляхів надходження  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  і трансуранових елементів у дніпровський басейн. Важлива частина радіоактивного стоку  $^{137}\text{Cs}$  формується за межами України під час його змиву з водозборів верхніх басейнів річок Дніпро, Прип'ять і Десна на територіях Білорусі і Росії.

Радіонукліди іншого техногенного походження в Україні до Чорнобильської катастрофи за звичайних умов не були присутні у воді. Виняток становили глобальні опади в басейнах великих річок, що виникали в результаті випробувань ядерних бомб у атмосферному повітрі. Так у водах Дніпра вміст  $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$  глобального «бомбового» походження коливався на рівні сотих частин бекереля на  $\text{дм}^3$  (Лось І.П., Войцехович О.В., Шепелевич К.І., 2001).

Згідно з даними Науково-дослідного інституту сільськогосподарської радіології НААН України, практично всі продукти рослинництва, що мають харчове значення, можуть бути отримані на ґрунтах з рівнем забруднення  $^{137}\text{Cs}$  до  $1,5 \text{ ГБк} \cdot \text{км}^{-2}$ .

Основне завдання аграрного виробництва в умовах радіоактивного забруднення полягає в необхідності забезпечити зниження надходження радіонуклідів у рослини. Для реалізації цього завдання було розроблено чимало агроелімінованих заходів, але широкого застосування набули лише ті, що виявилися екологічно обґрунтованими, технічно здійсненими та економічно виправданими.

До комплексу заходів, які знижують надходження радіонуклідів у продукти рослинництва, належать:

- розбавлення радіонуклідів, що надходять у ґрунт їх хімічними аналогами (К, Са та ін.);
- зменшення рухомості радіонуклідів у ґрунті шляхом внесення речовин, що переводять їх у менш розчинні форми (органіка, фосфати, калійні солі, карбонати, глинисті мінерали);
- загортання забрудненого шару ґрунту в підорний горизонт за межі значного поширення кореневих систем – на глибину 60–70 см;
- підбір культур і сортів, які накопичують мінімальну кількість радіонуклідів;
- розміщення технічних культур на забруднених ґрунтах, використання цих площ для одержання насіння.

Практика ведення сільського господарства на територіях, забруднених унаслідок аварії на ЧАЕС, показала, що цей комплекс заходів дозволяє одержу-



вати сільськогосподарську продукцію з допустимими рівнями забруднення радіонуклідами.

### **Запитання для самоконтролю**

1. Що встановлюють екологічні критерії оцінки якості зрошувальної води?
2. На що може впливати незадовільний стан зрошувальної води за екологічними критеріями?
3. Перелічіть чотири напрями впливу зрошувальної води за екологічними критеріями?
4. Як проявляється показник фітотоксичності зрошувальної води?
5. Яким чином впливає на екологічне середовище транслокаційний показник води?
6. Який вплив на навколишнє середовище чинить водно-міграційний показник?
7. На що найбільше впливає загально-санітарний показник зрошувальної води?
8. Які дві групи показників якості зрошувальної води виділяють за екологічними критеріями?
9. Як впливає перша група показників якості зрошувальної води на екологічні критерії?
10. Які негативні показники впливу за екологічними критеріями має зрошувальна вода?
11. Як здійснюють нормування зрошувальної води за показниками макроелементів живлення рослин?
12. Які сполуки азоту в зрошувальній воді необхідно контролювати? Яким чином встановлюють їх критичне значення?
13. Що таке біохімічне споживання кисню і як встановлюють його граничне значення?
14. Яким чином виконують нормування якості зрошувальної води за вмістом мікроелементів та важких металів?
15. Що таке мікродобрива в зрошувальній воді, і як встановлюють їх граничне значення?
16. Що входить до складу важких металів і як вони впливають на рослини та якість продукції рослинництва?
17. Який із важких металів є найбільш токсичним для рослин?
18. Яким чином оцінюють зрошувальну воду за наявності в ній пестицидів?
19. На які класи токсичності поділяють пестициди за характером впливу на рослини?
20. Що таке персистентність пестицидів зрошувальної води в ґрунті та рослинах?
21. Які найстійкіші і найдовготриваліші за токсичністю пестициди можуть знаходитись у зрошувальній воді?
22. Що таке феноли і як вони можуть впливати на якість зрошувальної води?
23. Що називають ціанідами і як вони впливають на якість зрошувальної води?
24. Як нафта і нафтопродукти впливають на якість зрошувальної води?
25. Що таке детергенти і як вони впливають на якість зрошувальної води?
26. Що називають поверхнево-активними речовинами?
27. Які санітарно-бактеріологічні показники використовують, оцінюючи зрошувальну воду?
28. Що називають колі-індексом води? Який граничнодопустимий колі-індекс зрошувальної води?
29. Що таке колі-фани? Як оцінюють зрошувальну воду за колі-фагами?
30. Які інфекційні захворювання нормують колі-фаги води?
31. Що таке гельмінти і як їх нормують у зрошувальній воді?
32. Яким чином нормують радіоактивне забруднення зрошувальної води?
33. Які причини забруднення зрошувальної води радіоактивними речовинами?

### 3. ТЕХНІЧНІ КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ЗРОШУВАЛЬНОЇ ВОДИ

Технічні критерії мають визначати якість води для зрошення за дією на довговічність елементів гідромеліоративних систем та їх складових частин через запобігання процесам корозії, заростання, біообростання, замулення тощо.

Технічні критерії залежать від способу і техніки поливу. Найжорсткіші вимоги до якості води за технічними вимогами у систем краплинного зрошення через наявність дрібних водовипусків, які можуть забиватися різними забрудненнями, найменші вимоги до якості води в систем під самопливно-поверхневий полив з відкритою зрошувальною мережею.

#### 3.1. Оцінка придатності води для зрошення за ступенем впливу на елементи систем краплинного зрошення

Придатність води для зрошення за ступенем впливу на елементи систем краплинного зрошення оцінюють за показниками, наведеними в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Показники придатності води для зрошення за ступенем впливу на елементи систем краплинного зрошення (ДСТУ 7594:2014)

Показник	Одиниця вимірювання	Придатність води для зрошення		
		придатна	умовно придатна	непридатна
Загальна мінералізація	мг/л	Менше 500	500–2000	Більше 2000
pH		6–7	7–8	Більше 8
Вміст марганцю	мг/л	Менше 0,1	0,1–1,5	Більше 1,5
Вміст заліза	мг/л	Менше 0,2	0,2–1,5	Більше 1,5
Вміст сірководню	мг/л	Менше 0,2	0,2–2,0	Більше 2,0
Кількість популяцій бактерій	-	Менше $10 \cdot 10^6$	$10 \cdot 10^6$ – $50 \cdot 10^6$	Більше $50 \cdot 10^6$
Індекс стабільності води	$I_c$	У межах від –0,5 до +0,5	–0,5 і +0,5	Менше –0,5 і більше +0,5

Загальна мінералізація зрошувальної води в більшій мірі впливає на агрономічні, а не на технічні критерії. З технічної точки зору більший вплив має склад солей, який прискорює процеси ерозії або відкладання накипу, що характеризується індексом стабільності води.

Залізо (*Fe*) і манган (*Mn*) – хімічні елементи, які займають четверте і сімнадцяте місця за розповсюдженням на нашій планеті (їх питома маса – 4,5 % і 0,1 %, відповідно); обидва присутні в кам'янистих утвореннях і в земній корі. Частіше всього вони зустрічаються в поверхневих відкладеннях ґрунту, проте значна кількість заліза і марганцю також може міститись і в поверхневих водах. Під час фільтрації дощова вода стикається з залізом і магнієм, які знаходяться в різних шарах ґрунту. Вихід елементів і умови їх залягання часто призводять до

того, що підземні води набувають високої концентрації діоксиду вуглецю (вуглекислого газу), розчиненого в результаті концентрації мікробів; ця ситуація провокує кисле середовище води (низький рН), що сприяє їх подальшому перетворенню у двовалентне залізо  $Fe^{2+}$  та іони марганцю  $Mn^{2+}$ .

При заборі води із водоносного горизонту і при взаємодії з повітрям, молекулярний кисень проникає у воду і витісняє діоксид вуглецю. Якщо вода містить залізо і марганець, то висока концентрація кисню, через зростання рН унаслідок виділення розчинного  $CO_2$ , стимулює утворення оксидів даних елементів, у результаті чого утворюється нерозчинний осад.

Використання зрошувальної води, яка містить відклади заліза і марганцю, збільшує ризик засмічення емітерів крапельних ліній. Якщо не робити належного очищення крапельної системи, або якщо воно виконується неправильно, то нерозчинні оксиди можуть акумулюватись усередині крапельниці краплинних трубок. Утворення великих частинок потенційно може блокувати потік, а дрібні частинки, через зв'язуючі (клейкі) властивості бактерій заліза і карбонатів, можуть призвести до засмічення крапельниць.

Більше того, залізна бактерія одержує свою енергію в процесі окислення заліза, в результаті якого 2-валентне залізо переходить у 3-валентну форму, і потім відкладається у вигляді в'язкого нальоту всередині трубок.

Окислення розчинних компонентів заліза і марганцю у воді може призвести до відкладання осадів на внутрішніх стінках трубопроводу. Даний процес знижує корисну площу передачі води.

Все це, про що йшла мова вище, збільшує частоту і інтенсивність робіт з обслуговування ліній для профілактики і запобігання можливого засмічення крапельниць, що тягне за собою додаткові витрати на енергоресурси, робочу силу і хімічні реагенти.

Для зменшення потенційної загрози засмічення крапельниць необхідно знижувати рівень вмісту заліза в поливній воді. Окислювальну обробку води можна виконувати механічним або хімічним шляхом.

Механічна обробка зрошувальної води відбувається за рахунок аерації її в резервуарі – збагачення киснем повітря води, в результаті чого окислюється і випадає залізо в осад. Залежно від терміну, на який вода залишається в резервуарі, залізо і марганець можуть випадати в осад у цьому резервуарі або можуть бути видалені системою фільтрації на вході системи краплинного зрошення.

Хімічні реагенти застосовують у тому разі, якщо осадження заліза механічним способом неможливо. Для цього застосовують окислюючі реагенти, наприклад як гіпохлорид натрію. Він окислює і стимулює випадіння заліза в осад. Однак хімічній обробці має передувати аналіз води для визначення необхідної дози. Кількість хлору, який потрібно застосувати, можна розрахувати за формулою

$$Cl_{ppm} = 0,65 \cdot Fe_{ppm}, \quad (3.1)$$

де  $Cl_{ppm}$  – міліонна частка – одиниця вимірювання хлору відносних величин,

що дорівнює  $1 \cdot 10^{-6}$  від базового показника, мг/кг, г/т;

$Fe_{ppm}$  – міліонна частка вимірювання заліза в досліджуваній воді, мг/кг, г/т.

Хлор окислює залізо, що знаходиться у воді, у вигляді солей 2-валентного або 3-валентного заліза. Застосування повинне бути здійснене до надходження обробленої води в дисковий фільтр, так щоб він зміг затримати відкладення.

Використання кислот знижує рівень рН зрошувальної води і збільшує розчинність солей заліза і марганцю, розчинюючи відкладення даних елементів, і в той же час стримує їх у розчиненні без випадіння в осад.

Ефективним інструментом, що зменшує потенційну шкоду, яку можуть чинити частинки заліза і марганцю, засмічуючи краплинні лінії – використання цих високоякісних ліній. Конструкція таких крапельних ліній забезпечує самоочищення емітерів від забруднень, які містяться в зрошувальній воді, зі збереженням рівномірного виливу незалежно від терміну експлуатації систем.

**Сірководень (H<sub>2</sub>S)** – токсичний газ. Вода з підвищеним вмістом сірководню здатна призвести в непридатність всю систему водопостачання, оскільки сірководень викликає сильну корозію металів. У поєднанні з залізом він утворює осад сірчистого заліза, і труби дуже швидко засмічуються.

Видаляти сірководень можна декількома способами залежно від джерела зрошення. Якщо джерелом зрошення є свердловина, то зменшити кількість сірководню можна такими способами:

- очищення свердловини (видалення мулу з дна і стінок труб, видалення відкладень і т.п.), таке очищення бажано проводити не рідше, ніж один раз на два роки;
- прокачування свердловини;
- видалення шару глини і піску;
- герметизація або заміна труб.

Видалення самого сірководню також відбувається декількома способами:

- аерація (насичення води киснем, який окислює сірководень у воді, бактерії при цьому знищуються). Недолік цього методу в застосуванні досить громіздких установок;
- очищення від сірководню за допомогою спеціальних реагентів-окислювачів, які нейтралізують шкідливі речовини. Також можна застосовувати вугільні фільтри.

Після того, як вжито заходів до очищення, потрібно провести повторний аналіз води на сірководень, щоб переконатися в тому, що вона придатна для потреб зрошення.

При зрошенні водою із поверхневих джерел виникає проблема розповсюдження фітопланктону і біообростання.

**Фітопланктон** (від грец. *phyton* – рослина та *planktos* – блукаючий) – частина планктону, що представлена рослинними організмами, які мають пристосування для мандрування в товщі водної маси. Це одноклітинні мікроскопічні водорості – представники відділів *Cyanophyta*, *Bacillariophyta*, *Dinophyta* та *Chlorophyta*. Разом із фітобентосом, представники фітопланктону є найголовнішими продуцентами у водоймі, асимілюючи сонячну радіацію та перетворюючи її в органічну речовину в процесі фотосинтезу. Від розвитку фітопланктону залежить продуктивність водойми в цілому. Також за показниками видового багатства та первинної продукції фітопланктону можна оцінити якість

води у водоймі та рівень її евтрофікації. При масовому розвитку певних водоростей можуть спостерігатись «цвітіння». Наприклад, види роду *Anabaena* (*Cyanophyta*), при масовому розвитку викликають загибель риби.

Ріст фітопланктону у світовому океані та виникнення «цвітінь» пояснює декілька гіпотез. Одна з них – гіпотеза «критичних глибин», яка нещодавно була спростована американськими науковцями. Ця гіпотеза, розроблена в 1953 році, ґрунтувалася на поясненні росту фітопланктону залежно від освітленості водного стовпа, проте не враховувала виїдання фітопланктону зоопланктоном, що враховано новою гіпотезою, підтвердженою 9-річними супутниковими спостереженнями виникнення та розповсюдження «цвітіння» фітопланктону в океанічних водах.

При зрошенні водою, що містить фітопланктон, швидкість **біообростання** трубопроводів і крапельниць не повинна перевищувати  $0,5 \text{ г/м}^2$  площі контакту за 100 год. поливу. В іншому випадку всі мікроскопічні канали емітерів можуть заростати (забиватись) цим фітопланктоном.

Для попередження накопичення осаду в трубопроводах, зниження витрат крапельниць і емітерів та засмічення виконавчих органів засобів автоматики необхідно здійснювати профілактичні і відновлювальні промивання. Профілактичні промивання виконують після кожного поливу при вмісті зважених речовин у воді більше 50 мг/л, через 3–4 поливи при вмісті завислих частинок менше 50 мг/л. Для змивання осаду, що відклався на дні поливних трубопроводів, їх обладнують спеціальними кінцевими клапанами-заглушками.

Відновлювальні промивання призначають для попередження біообростання і розпушення ущільнених осадів у трубопроводах, крапельних водовипусках. Здійснюють їх на початку поливного періоду і після його закінчення – слабким розчином сірчаної ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) або соляної ( $\text{HCl}$ ) кислоти з рН – 2,5–3,5. При появі фітопланктону в поливній воді застосовують розчин сірчаної кислоти міді з концентрацією міді 1–3 мг/л. При відновлювальних промиваннях в процесі поливу розчини кислот і сірчаної кислоти міді вводять у голову ділянкового трубопроводу за допомогою інжектора, або насоса-дозатора, під напором, що перевищує напір води в трубопроводі. Після введення розчинів реагентів у мережу її необхідно промити поливною водою для змивання розпушеного осаду. Тривалість відновлювальних промивань – 0,5–1,0 год.

Для попередження масового попадання фітопланктону в поливну мережу має бути регулярний біологічний контроль за якістю води в регулюючих басейнах. При вмісті водоростей у воді більше 10 млн кл/л необхідно обробляти воду розчином сірчаної кислоти міді. Розрахунок кількості мідного купоросу ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ), необхідного для обробки водойм, виконують за формулою

$$X_{\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}} = 2,929 \cdot C \cdot V, \quad (3.2)$$

де  $C$  – необхідна концентрація міді у відібраній воді, г/м<sup>3</sup>;

$V$  – заданий об'єм води, що підлягає обробці, м<sup>3</sup>;

3,929 – константа.

Обробку води мідним купоросом виконують з концентрацією за чистою міддю для:

- водойм і водотоків комплексного призначення – більше 0,1 г/м<sup>3</sup>;
- вододжерел технічного призначення – 0,3–0,7 г/м<sup>3</sup>;
- регулюючих басейнів – 1–5 г/м<sup>3</sup>.

Тривалість обробки не менше 5 год. при штилі та температурі води не нижче +17 °С, у період доби з 8 до 12 год.

Підкислення води дає можливість уникнути закупорювання водовипусків солями кальцію. Найефективнішою для цього є азотна кислота, концентрація якої в поливній воді не має перевищувати 0,5 %, тобто на 1 м<sup>3</sup> поливної води потрібно 5 л чистої кислоти. Тривалість промивання – 30 хв. Стільки ж часу необхідно для промивання чистою водою. Частота – один раз на місяць і обов'язково – наприкінці зрошувального сезону.

Хлорування води, як засіб уникнення закупорювання крапельниць водоростями й органічними речовинами, краще проводити рідкою хлоркою з концентрацією в ній хлору 12,5 %. Для отримання необхідної концентрації на один кубометр поливної води витрачається 400 г рідкої хлорки. Частота і тривалість промивання такі самі, як і при підкисленні води. Найліпше підкислення і хлорування води проводити одночасно.

Для захисту поливних трубопроводів від *грунтових шкідників* використовують також агротехнічний і хімічний методи боротьби.

*Агротехнічний метод* – це створення несприятливих умов для розвитку та розмноження шкідників, тобто – це правильна організація сівозміни. На кількість ґрунтових шкідників суттєво впливають і меліоративні, і агрохімічні заходи. Так, наприклад вапнування кислих ґрунтів створює несприятливі умови для розвитку багатьох шкідників. Істотно погіршує умови для розвитку личинок оранка на зяб.

*Хімічний метод боротьби* – це обробіток ґрунту, рослин і накопичення шкідників хімічними препаратами. Вносять їх разом із поливною водою. На практиці найефективнішим є застосування *Базудіну* дозою 1,2 – 1,8 л/га, *БІ-58* дозою 2 л/га. Ефективним є також використання протруєних приманок – зерна пшениці, ячменю тощо.

Експлуатаційний персонал, який виконує операції з відновлювальних промивань, повинен пройти інструктаж з техніки безпеки при роботах, пов'язаних із застосуванням хімічних реагентів.

Приготування розчинів реагентів потрібної концентрації здійснюють на головному вузлу системи краплинного зрошення (у районі водозабору і насосної станції), а їх введення в мережу виконують за допомогою пересувних цистерн з внутрішнім (антикорозійним) покриттям і насосів-дозаторів, змонтованих на шасі автомобіля. Для цих потреб можна використовувати установки для внесення в зрошувальну мережу рідких розчинних добрив, гідропідживлювачі та аналогічні технічні засоби для фертигації.

Придатність води для зрошення за **допустимим вмістом завислих частинок** мінерального та органічного походження і граничними їхніми розмірами залежно від розмірів прохідних отворів краплинних водовипусків та засобів автоматизації оцінюють відповідно до показників, наведених у табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Допустимі значення завислих частинок у воді та їхні розміри (ДСТУ ISO 5667-18:2007)

Розміри прохідних отворів, мм	Завислі частинки		Гідробіонти	
	концентрація, мг/л	розмір частинок, мкм	концентрація, мг/л	розмір частинок, мкм
Менше 1	30–50	Менше 50	5	Менше 50
1–2	50–100	Менше 70	10	Менше 100
2	100–300	Менше 100	15	Менше 150

Розміри прохідних отворів крапельниць і емітерів краплинних стрічок, як правило, значно менше 1 мм, тому до складу систем краплинного зрошення входять, 2 фільтри (піщано-гравійний і дисковий, або сітчастий). Ці фільтри захищають системи від потрапляння завислих частинок і гідробіонти.

## 3.2. Індекс стабільності води

**Індекс Ланжелъє.** У 1936 р. американський вчений Ланжелъє (*W.F. Langelier*) запропонував використовувати розроблену ним формулу для оцінки термостабільності розчину. Формула заснована на визначенні ступеня насичення розчину карбонатом кальцію. Нестабільність розчину призводить або до утворення накипу, або до корозії. Індекс донині використовується фахівцями з водопідготовки.

Для визначення індексу Ланжелъє необхідні такі параметри:

- рН (водневий показник) при температурі +25 °С;
- сухий залишок (TDS) – загальна мінералізація в мг/дм<sup>3</sup>, помножена на 7;
- температура розчину в °С;
- жорсткість по кальцію (Ca<sup>2+</sup>) в мг/дм<sup>3</sup>;
- лужність по НСО<sub>3</sub><sup>-</sup> в мг/дм<sup>3</sup>;

За допомогою формул визначають допоміжні коефіцієнти і розраховують проміжне значення – рНs.

Формула індексу Ланжелъє:

$$LSI = pH - pHs; \quad (3.3)$$

$$pHs = (9,3 + A + B) - (C + D), \quad (3.4)$$

де  $A = \frac{\lg(TDS \cdot 7) - 1}{10};$

$$B = -13,2 \cdot \lg(t_{\circ C} + 273) + 34,55;$$

$$C = \lg(\text{жорсткість за } Ca^{+2}) - 0,4;$$

$$D = \lg(\text{лужність за } HCO_3^{-1});$$

$t_{\circ C}$  – температура води, °С.

Його значення показує:

- індекс Ланжелъє менше 0 – утворення накипу не відбувається, розчин агресивний (висока корозія);
- індекс Ланжелъє дорівнює 0 – розчин стабільний;

- індекс Ланжелє більше 0 – спостерігається утворення накипу, корозії не спостерігається.

**TDS** – загальна мінералізація – показник вмісту у воді розчинених речовин (неорганічні солі, органічні речовини). Цей показник також називають вмістом твердих речовин або загальним солевмістом. Розчинені гази при обчисленні загальної мінералізації не враховуються. За кордоном мінералізацію також називають «загальною кількістю розчинених часток» – *Total Dissolved Solids* (TDS). Найвагоміший внесок у загальну мінералізацію води вносять поширені неорганічні солі (бікарбонати, хлориди і сульфати кальцію, магнію, калію і натрію), а також невелика кількість органічних речовин;

**Жорсткість води** – сукупність хімічних і фізичних властивостей води, пов'язаних з вмістом у ній розчинених солей лужноземельних металів, головним чином кальцію і магнію (солей жорсткості).

Вода з великим вмістом солей називається жорсткою, з малим вмістом – м'якою. Термін «жорстка» по відношенню до води історично склався через властивості тканин після їх прання з використанням мила на основі жирних кислот – тканина, випрана в жорсткій воді, більш жорстка на дотик. Цей феномен пояснюється, з одного боку, сорбцією тканиною кальцієвих і магнієвих солей жирних кислот, що на макрорівні утворюються в процесі прання. З іншого боку, волокна тканини мають іонообмінні властивості, і, як наслідок, абсорбують багатовалентні катіони на молекулярному рівні. Розрізняють тимчасову (карбонатну) жорсткість, обумовлену гідрокарбонатами кальцію і магнію  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ;  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ , та постійну (некарбонатну) жорсткість, викликану присутністю інших солей, які не виділяються при кип'ятінні води: в основному, сульфатів і хлоридів Ca і Mg ( $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{MgCl}_2$ ).

Жорстка вода умовно сушить шкіру, в ній погано утворюється піна при використанні мила. Використання жорсткої води викликає появу осаду (накипу) на стінках котлів, в трубах. У той же час, використання занадто м'якої води може призводити до корозії труб, оскільки в цьому випадку відсутня кислотно-лужна буферність, яку забезпечує гідрокарбонатна (тимчасова) жорсткість. Споживання жорсткої або м'якої води зазвичай не є небезпечним для здоров'я, дані свідчать про те, що висока жорсткість сприяє утворенню сечових каменів, а низька – незначно збільшує ризик серцево-судинних захворювань. Смак природної питної води, наприклад води джерел, обумовлений саме присутністю солей жорсткості.

Жорсткість природних вод може варіюватися в досить широких межах і протягом року не є постійною: збільшується через випаровування води і зменшується в сезон дощів, а також у період танення снігу і льоду.

**Лужність води** визначається сумою гідроксильних іонів і аніонів слабких кислот (органічних і вугільної), а також гідрокарбонатних і карбонатних іонів, що містяться у воді.

Розрізняють *гідрокарбонатну*, *карбонатну* і *гідратну лужність*.

Під лужністю природних або очищених вод розуміють спроможність деяких їхніх компонентів зв'язувати еквівалентну кількість сильних кислот. Лужність обумовлена наявністю у воді аніонів слабких кислот (карбонатів, гід-



рокарбонатів, силікатів, боратів, сульфатів, гідросульфатів, сульфідів, гідросульфідів, аніонів гумінових кислот, фосфатів). Їх сума називається загальною лужністю. Через незначну концентрацію трьох останніх іонів загальна лужність води звичайно визначається тільки аніонами вугільної кислоти (карбонатна лужність).

Лужність визначається кількістю сильної кислоти, необхідної для нейтралізації 1 дм<sup>3</sup> води. Лужність більшості природних вод визначається тільки гідрокарбонатами кальцію і магнію, якщо рН цих вод не перевищує 8,3.

Визначення лужності корисно при дозуванні хімічних речовин, необхідних на обробку вод для водопостачання, а також при реагентній очистці деяких стічних вод. Визначення лужності при надлишкових концентраціях лужноземельних металів важливо для встановлення придатності води для іригації. Разом зі значеннями рН лужність води слугує для розрахунку вмісту карбонатів і балансу вугільної кислоти у воді.

**Завдання 3.1 – Розрахувати індекс стабільності Ланжельє для зрошувальної води, наведеної у завданні 1.1.**

Дано: 1. Водневий показник рН – 7,5.

2. Сухий залишок (загальна мінералізація) – 573 мг/дм<sup>3</sup>.

3. Температура води – 25 °С.

4. Жорсткість за карбонатом кальцію – 55 мг/дм<sup>3</sup>.

5. Лужність за гідрокарбонатами – 183 мг/дм<sup>3</sup>.

Необхідно визначити індекс стабільності Ланжельє.

Розв'язок.

За формулою (3.4) визначають допоміжний коефіцієнт рНs

$$pHs = (9,3 + A + B) - (C + D) = (9,3 + 0,26 + 1,89) - (1,34 + 2,26) = 7,85$$

При цьому прийняті такі значення:  $A = (\lg(573 \cdot 7) - 1) / 10 = 0,26$ ;

$$B = -13,2 \cdot \lg(25 + 273) + 34,55 = 1,89;$$

$$C = \lg(55) - 0,4 = 1,34;$$

$$D = \lg(183) = 2,26$$

Тоді за формулою (3.3) індекс Ланжельє складе

$$LSI = 7,5 - 7,85 = -0,35.$$

Отже, значення індекса Ланжельє менше 0 – утворення накипу не відбудеться, розчин агресивний, можлива корозія. Значення індекса стабільності знаходиться в установлених межах, і воду можна віднести до I класу (табл. 3.1).

Складність розрахунків індекса Ланжельє привела до того, що за останні 80 років робилися неодноразові спроби спростити і вдосконалити метод, запропонований ним.

**Індекс стабільності Різнера.** У 1944 році Різнер звернув увагу на те, що шар накипу на поверхні металу може перешкоджати корозії. Ґрунтуючись на коефіцієнтах розрахунку індексу Ланжельє, Різнер запропонував свою формулу розрахунку стабільності розчину.

$$RSI = 2pHs - pH. \quad (3.5)$$

Значення індексу стабільності Різнера показує:

- $2pH_s - pH > 6$  розчин схильний до корозії;
- $2pH_s - pH = 6$  розчин стабільний;
- $2pH_s - pH < 6$  розчин схильний до утворення накипу.

**Таблиця 3.3 – Зведені значення індексу Ланжельє та індексу стабільності Різнера:**

Індекс Ланжельє	Індекс Різнера	Характеристика розчину
3	3	Надзвичайно високе утворення накипу
2	4	Дуже високе утворення накипу
1	5	Утворення накипу
0,5	5,5	Тенденція до утворення накипу
0,2	5,8	Легке утворення накипу
0	6	Стабільний розчин
-0,2	6,5	Дуже легкий ступінь корозії
-0,5	7	Легкий ступінь корозії
-1	8	Тенденція до корозії
-2	9	Дуже висока корозія
-3	10	Надзвичайно висока корозій

Для розглянутого завдання 3.1 індекс стабільності Різнера, згідно з формулою (3.5), складе

$$RSI = 2pH_s - pH = 2 \cdot 7,85 - 7,5 = 8,2.$$

Значення індексу Різнера більше 6 – розчин схильний до корозії.

Якщо використати значення із табл. 3.3, то необхідно відмітити легкий ступінь корозії, тому для всіх металевих деталей конструкції зрошувальної мережі потрібно передбачати захист від корозії.

**Індекс Паккоріуса** для оцінки здатності води до утворення накипу. Деякі методики розрахунків корозійно-накипних індексів не враховують два критичних параметри: буферну ємність води і максимальну кількість осаду, що може утворювати природна вода в рівноважних умовах. Індекс здатності накипоутворення Паккоріуса дозволяє виміряти співвідношення між насиченим станом і станом накипоутворення, враховуючи буферну ємність води. Вода, багата на кальцій, але з низькою загальною лужністю і низькою буферною ємністю може мати високу розчинність кальциту. Концентрація кальцію зростає з ростом добутку активності іонів. Залежність добутку активності іонів від кількості випавшого з води осаду супроводжується відчутним зниженням рН у міру осадження кальцію і в міру зниження буферної ємності розчину. Навіть незначне зниження концентрації карбонат-іона у воді сильно зменшує добуток активності іонів. І навпаки, навіть незначне зростання концентрації карбонат-іона призводить до осадження кальцію.

Вода при перенасиченні карбонатом кальцію, але не має буферної ємності, нездатна підтримувати рН, при якому утворюється кальцій.

Індекс накипоутворення здатності *Паккоріуса* розраховують так само, як і індекс стабільності Різнера. Для врахування впливу буферності системи Паккоріус використовують при розрахунках рівноважний  $pH_{екв}$ , а не вимірний  $pH_{вим}$ :

$$IHP = 2 \cdot (pH_{CaCO_3}) - pH_{екв}, \quad (3.6)$$

де  $pH_{CaCO_3}$  – значення активності іонів водню в насиченому розчині карбонату кальцію;

$pH_{екв}$  – рівноважна активність іонів водню:

$$pH_{екв} = 1,465 \cdot \lg(Alk) + 4,54, \quad (3.7)$$

де  $Alk$  – загальна лужність:

$$Alk = [HCO_3^{-1}] + 2 \cdot [CO_3^{-2}] + [OH^{-1}] \quad (3.8)$$

(квадратні дужки – символ рівноважної концентрації).

**Індекс Ларсона-Скольда** характеризує корозійну здатність води по відношенню до низьковуглецевої сталі і сталевих зразків. Індекс Ларсона-Скольда розроблений на підставі багаторічних спостережень корозії трубопроводу з низьковуглецевої сталі, по якому транспортується вода Великих Озер (на кордоні США і Канади). Індекс Ларсона-Скольда являє собою відношення суми еквівалентних концентрацій хлор-іонів ( $Cl^{-1}$ ) і сульфат-іонів ( $SO_4^{-2}$ ) до суми еквівалентних концентрацій гідрокарбонат-іонів і карбонат-іонів:

$$IЛС = \frac{C_{Cl^{-1}} + C_{SO_4^{-2}}}{C_{HCO_3^{-1}} + C_{CO_3^{-2}}}. \quad (3.9)$$

Індекс Ларсона-Скольда встановлює причинний взаємозв'язок між звичайними швидкостями корозії і різкими підвищеннями її швидкості, які спостерігаються у воді Великих Озер. Екстраполяція цих даних на води інших джерел як з низькою, так і з вкрай високою лужністю є неправомірною. Індекс Ларсона-Скольда – випробуваний корисний інструмент у прогнозі корозійної агресивності охолоджувальної води у водооборотних циклах. З огляду на величезні обсяги води Великих Озер, що використовуються для охолодження, особливий інтерес індекс Ларсона-Скольда являє собою в разі застосування інгібіторів корозії, механізм дії яких заснований на використанні природної лужності і плівкоутворювальної здатності охолоджувальної води.

Індекс Ларсона-Скольда інтерпретується таким чином:

$IЛС < 0,8$  – хлориди і сульфати не впливають на природне утворення захисної плівки;

$0,8 < IЛС < 1,2$  – хлориди і сульфати ускладнюють утворення захисної плівки. Спостерігається більш висока, порівнянно з нормальною, швидкість корозії сталі;

$IЛС > 1,2$  – висока швидкість точкової корозії в міру підвищення значення індексу.

**Індекс Стіффа-Девіса** є спробою подолати недоліки індексу Ланжельє у випадках, коли концентрація солей жорсткості у воді висока і ефект «загального іона» впливає на рушійну силу утворення відкладень. Подібно індексу Ларсона-Скольда індекс Стіффа-Девіса базується на концепції розчинності. Добуток розчинності, що використовується для розрахунків  $pH$  насиченого розчину ( $pH_s$ ), емпірично перетворено в індекс Стіффа-Девіса. Індекс Стіффа-

Девіса показує суттєво нижчу здатність води до утворення накипу, ніж індекс Ланжелє в тих самих умовах і при тому самому складі води. Різниця між показаннями індексів зростає в міру зростання іонної сили розчину. Інтерпретація індексу Стіффа-Девіса проводиться за тією самою шкалою, що і при розрахунках індексу Ланжелє.

**Індекс Оддо-Томсона** дозволяє оцінювати вплив імпульсних тисків і парціального тиску  $CO_2$  на  $pH$  води і розчинність карбонату кальцію. Ця емпірична модель також ураховує поправки на присутність двох або трьох фаз (вода, газ, і нафта). Інтерпретація індексу ведеться за тією самою шкалою, що і в індексах Ларсона-Скольда і Стіффа-Девіса.

**Спрощений розрахунок індексу Ланжелє.** Як вже було зазначено раніше, розрахунок індексу Ланжелє досить складний для людини, яка не є фахівцем. Цілком природно, що спростити його намагалися неодноразово. Значення коефіцієнтів активності одно- і двозарядних іонів, а потім і іонної сили розчину визначаються тільки їх зарядом і концентрацією, але не хімічними властивостями. Нагадаймо, що розглядаються варіанти розрахунку для дуже слабкого розчину, в якому коефіцієнти активності близькі до одиниці. Наприклад, верхня межа застосування рівняння (3.3) обмежена концентрацією карбонату кальцію  $8,5 \text{ мекв/дм}^3$ , або приблизно  $0,04 \%$ . У  $2 \%$  розчині соляної кислоти, в  $5 \%$  розчині сірчаної та азотної кислот активність води –  $0,98$ . У  $2 \%$  розчині карбонату натрію активність води –  $0,99$ , а карбонату калію –  $0,995$ .

Оскільки індекс Ланжелє скоріше якісний, ніж кількісний показник, то розрахунок можна істотно спростити, а саме: замінити розрахунок іонної сили і коефіцієнтів активності іонів різного заряду виміром навантаження маси «сухого залишку», тобто загальної маси всіх солей, які залишаються в пробі розчину після випарювання. У цьому випадку не треба робити повний кількісний хімічний аналіз проби води, досить просто висушити певний обсяг води і виміряти зважуванням масу осаду.

Наступний крок на шляху полегшення розрахунку індексу Ланжелє дозволяє зробити і аналіз математичної моделі, одержаної регресійним аналізом. На базі експериментальних даних про значення індексу Ланжелє побудовано математичну модель залежно від таких параметрів:

- $pH$  розчину;
- температури  $t$ , при якій вимірюють  $pH$ ;
- загальної лужності  $Alk$ ;
- концентрації іона кальцію  $Ca^{+2}$ ;
- маси розчинених в одиниці об'єму речовин – сухого залишку  $SR$  після випарювання.

$$I_{Lng} = \left( -8,19 + 0,088 \cdot Alk - 4,69 \cdot 10^{-8} \cdot SR^2 \right) + 0,118 \frac{Ca^{+2}}{pH} + \left( 1,15 - \frac{0,138}{Ca^{+2}} - \frac{1,18}{t} \right) pH. \quad (3.10)$$

Коефіцієнт множинної кореляції  $R^2=0,997$ ; середньоквадратичне відхилення розрахункового значення індексу Ланжелє за моделлю (3.10) становить  $s=\pm 0,04$ . Загальна лужність  $Alk$  і кальцієва жорсткість  $Ca^{+2}$  виражені в мекв/дм<sup>3</sup>,

сухий залишок ( $SR$ ) після випарювання проби води виражений в мг/л. Температура вимірюється в  $^{\circ}C$ . Рівняння адекватно в таких діапазонах зміни змінних:

- $Alk - 2-10$  мекв/дм<sup>3</sup>;
- $Ca^{+2} - 2-22$  мекв/дм<sup>3</sup>;
- $SR - 200-2000$  мг/дм<sup>3</sup>;
- $t - 14-36$   $^{\circ}C$ ;
- $pH - 6,8-8,4$ .

Підкреслимо, що в рівнянні використовується вимірне за допомогою  $pH$ -метра значення  $pH_{вим}$ , але індекс Ланжельє був розрахований за рівнянням (3.10) відразу з помилкою  $\pm 0,04$  од. вимірювання  $pH$ .

Для розглянутої вправы в завданні 3.1 значення індексу Ланжельє за формулою (3.10) складе

$$I_{Lng} = \left( -8,19 + 0,088 \cdot 3,00 - 4,69 \cdot 10^{-8} \cdot 573^2 \right) + 0,118 \frac{2,75}{7,5} + \left( 1,115 - \frac{0,138}{2,75} - \frac{1,18}{25} \right) \cdot 7,5 =$$

$$= -7,941 + 0,043 + 7,632 = -0,266,$$

при цьому прийняті такі дані:

- $Alk = 3,00$  мекв/дм<sup>3</sup>;
- $Ca^{+2} = 2,75$  мекв/дм<sup>3</sup>;
- $SR = 573$  мг/дм<sup>3</sup>;
- $t = 25$   $^{\circ}C$ ;
- $pH = 7,5$ .

Рівняння (3.10) майже лінійне

$$I_{Lng} = A + B \cdot pH_{вим} + \frac{D}{pH_{вим}}, \quad (3.11)$$

де  $A = \left( -8,19 + 0,088Alk - 4,69 \cdot 10^{-8} SR^2 \right)$ ;

$$B = \left( 1,115 - \frac{0,138}{Ca^{+2}} - \frac{1,18}{t} \right);$$

$$D = 0,188Ca^{+2}.$$

Деяку нелінійність йому надає доданок  $\frac{D}{pH_{вим}}$ .

Для розглянутого завдання  $A = \left( -8,19 + 0,088 \cdot 3,00 - 4,69 \cdot 10^{-8} \cdot 573^2 \right) = -7,941$ ;

$$B = \left( 1,115 - \frac{0,138}{2,75} - \frac{1,18}{25} \right) = 1,018;$$

$$D = 0,188 \cdot 2,75 = 0,517;$$

Згідно з рівнянням (3.11), одержимо  $I_{Lng} = -7,941 + 1,018 \cdot 7,5 + \frac{0,517}{7,5} = -0,237$ .

Оцінка числових значень доданка  $D/pH$  показує, що вони змінюються в діапазоні 0,1–0,5, що складає по всьому набору даних в середньому 0,3. Ще менше зміниться тангенс кута нахилу  $B$  рівняння (3.11). Його численне значен-

ня змінюється в діапазоні від 1,06 до 1,10 при зміні температур вимірювання рН від 15 °С до 35 °С, що складає по всьому набору даних у середньому 1,08.

Оскільки індекс Ланжелє є якісною характеристикою властивостей води, то можна вважати D/pH постійною величиною, рівною 0,3, а коефіцієнт  $B$  – константою, рівною 1,08. Завдяки цьому рівнянню обчислення індекса Ланжелє стає ще простішим, а для оцінки корозійно-накипних властивостей води достатньо виконати тільки три вимірювання: загальної лужності Alk, сухого залишку SR після випаровування проби води і  $pH_{\text{изм}}$ :

$$I_{Lng} = \left( -7,89 + 0,088 \cdot Alk - 4,69 \cdot 10^{-8} \cdot SR^2 \right) + 1,08 \cdot pH. \quad (3.12)$$

Для розглянутого прикладу в завданні 3.1:

$$I_{Lng} = \left( -7,89 + 0,088 \cdot 3,00 - 4,69 \cdot 10^{-8} \cdot 573^2 \right) + 1,08 \cdot 7,5 = 0,459.$$

Якщо розглянути результати розрахунку за формулами (3.3), (3.10), (3.11) і (3.12), то є деякі відмінності в числових значеннях. Відхилення незначні, а отже, можна зробити висновок, що в даному випадку утворення накипу невелике і корозія незначна.

Отже, для оцінки індексу Ланжелє – здатність води викликати корозію або утворювати накип – потрібно два інструментальних вимірювання: рН і маса сухого залишку, а також виконання тільки одного хімічного аналізу загальної лужності Alk.

### 3.3. Очищення води від каламутності та біопланктону

**Очищення води** – це видалення сторонніх домішок із води (включно живих організмів) за допомогою механічних, фізико-хімічних (хлорування, озонування й т.п.) і біологічних методів, щоб кількість цих домішок у ній не перевищувала природного фону або допустимих величин.

Вода річок, каналів, ставків, озер часто не відповідає вимогам, які пред'являються до поливної води, й потребує в першу чергу очищення, особливо при краплинному зрошенні.

Воду з відкритого джерела спочатку пропускають через решітки, виготовлені з металевих прутів. Відстань між прутами коливається від 50 мм до 100 мм. Така решітка затримує великі плаваючі й зважені предмети. Після цього вода проходить через дворядну дротяну й латунну дрібну сітки, які не пропускають дрібне сміття, зайві частки.

Перший ряд дворядного дроту має прорізи 10–14 мм, другий ряд – 5–7 мм. Від дрібних зважених механічних домішок воду очищують у спеціальних спорудах – відстійниках. Аби викликати випадіння на дно відстійника найменших зважених часток, у воду додають коагулянти – сірчаноокислий алюміній  $Al_2(SO_4)_3$ , залізний купорос  $FeSO_4$  або хлорне залізо  $FeCl_2$ . Сірчаноокислий алюміній, гідролізуючись, викликає утворення осаду гідрату оксиду алюмінію. Випадаючи на дно відстійника, коагулянти осаджують дрібні частки мулу, бактерії, дрібний планктон та інше, при цьому вода інтенсивно освітлюється.

Дози коагулянтів залежать від каламутності води, яка очищається. За даними Н.Н. Абрамова, дози безводних коагулянтів  $Al_2(SO_4)_3$  і  $FeCl_2$  для води різної каламутності наведені в (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 – Дози коагулянтів для осадження зважених часток у воді

Вміст зважених речовин, мг/дм <sup>3</sup>	Дози $Al_2(SO_4)_3$ або $FeCl_2$ , мг/дм <sup>3</sup>	Вміст зважених речовин, мг/дм <sup>3</sup>	Дози $Al_2(SO_4)_3$ або $FeCl_2$ , мг/дм <sup>3</sup>
100	25–35	1000	60–90
200	30–45	1400	65–105
400	40–60	1800	75–115
600	45–70	2200	80–125
800	55–80		

Для зниження кольоровості води до нульових значень дозу коагулянта  $Al_2(SO_4)_3$  (мг/дм<sup>3</sup>) обчислюють за емпіричною формулою:

$$D_k = 4\sqrt{C}, \quad (3.13)$$

де  $C$  – кольоровість води за платино-кобальтовою шкалою, град.

Відстійники можуть бути горизонтальними й вертикальними.

**Горизонтальний відстійник** – це прямокутний закритий басейн, розділений на дві частини: зону осадження й зону накопичення й ущільнення осаду. Висота зони осадження зазвичай складає 2,5–3,5 м. Висоту зони накопичення й ущільнення розраховують на прийом осаду, який випадає в період між чистками відстійника. Щоб відстійник затримував зважені частинки, які подані в нього з водою, його довжину приймають рівною:

$$L = \frac{v \cdot H}{u}, \quad (3.14)$$

де  $L$  – довжина відстійника, м;

$v$  – швидкість руху води у відстійнику, складає 0,001–0,002 м/с,

$u$  – швидкість випадіння часток в осад, м<sup>3</sup>/с;

$H$  – висота зони осадження відстійника, м.

Відстійники роблять темними, щоб у них не розвивалася рослинність.

**Вертикальний відстійник** – це круглий або квадратний басейн висотою 4–5 м із конічним або пірамідальним дном і центральною циліндричною трубою. Вода трубою надходить у нижню частину відстійника, потім із невеликою швидкістю (0,5–0,75 мм/с) тече у верхню. Осад, що випадає при цьому, накопичується на дні відстійника. Освітлену воду пізніше пропускають через фільтр.

Фільтр зроблено у вигляді резервуара, заповненого фільтруючим матеріалом. На дні такого резервуара облаштовують дренажем для відводу профільтрованої води. На дренаж укладають шар підтримуючого матеріалу.

Якщо як фільтруючий матеріал використовують пісок, то як підтримуючий – гравій (крупність гравію донизу має збільшуватись). Швидкість фільтрації (м/год.) обчислюють за формулою

$$V = \frac{Q}{F}, \quad (3.15)$$

де  $Q$  – кількість води, яка пройшла через фільтр за одиницю часу,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$F$  – площа фільтра,  $\text{м}^2$ ;

$V$  – швидкість фільтрації,  $\text{м}/\text{год}$ .

Піщані фільтри поділяються на повільні й швидкі.

**Повільні фільтри** застосовують для фільтрування некоагулюючої води і виконують у вигляді бетонного або цегельного басейну. Швидкість фільтрації на таких фільтрах залежить від кількості зважених у воді речовин. При швидкості фільтрації  $0,1\text{--}0,2$   $\text{м}/\text{год}$ . затримуються практично всі мінеральні й органічні частки й до 98 % бактерій. Висоту фільтруючого й підтримуючого шарів повільного фільтра можна підібрати за табл. 3.5.

**Таблиця 3.5 – Висота фільтруючого й підтримуючого шарів залежно від крупності фракцій піску та гравію**

№ шару зверху	Завантажувальний матеріал	Крупність зерен, мм	Висота шару, мм
1	Пісок	0,3–1	1200
2	Те саме	1–2	50
3	Гравій або щебінь	2–4	100
4	Те саме	4–8	100
5	Те саме	8–16	100
6	Те саме	16–32	150

За 1–2 доби після початку фільтрації води через повільний фільтр у верхньому шарі фільтруючого матеріалу накопичуються зважені частки й утворюється плівка (осад). Із збільшенням товщини плівки (але до визначеної товщини) ефективність освітлювання води зростає. При помітному уповільненні процесу фільтрації забруднений верхній шар піску (1–2 см) знімають і замінюють новим незабрудненим. Чистку фільтрів виконують через 1–2 місяці роботи. Переваги повільних фільтрів – високі ступінь освітлення й відсоток затримання бактерій без попередньої хімічної обробки води; недолік – велика будівельна вартість і складність очищення.

**Швидкі фільтри** використовують для очищення питної води. Товщина фільтруючого шару піску в такому фільтрі досягає  $0,75\text{--}1,00$  м. Воду у фільтр подають після коагуляції. Швидкість фільтрації, як правило, складає  $6\text{--}12$   $\text{м}/\text{год}$ . Плівка (із зважених часток) необхідної товщини утворюється у верхньому шарі піску через 20–30 хв після початку фільтрації води. Тому фільтруючий матеріал у швидких фільтрах промивають (чистою водою, яку подають знизу через дренаж зі швидкістю  $35\text{--}45$   $\text{м}/\text{год}$ ) 2 рази в день. Промивання триває 5–7 хв. Переваги швидких фільтрів – швидко й досить задовільно очищують воду. Добові витрати очищеної води складають  $100$   $\text{м}^3$  з  $1$   $\text{м}^2$  площі фільтра.

**Знезаражування води** виконують для видалення з води мікроорганізмів і бактерій, які залишилися в ній після очищення, а іноді як єдиний самостійний захід очищення (для дезінфекції підземних вод). Розрізняють такі методи знезараження: хлорування, озонування, бактерицидне опромінення.



**Хлорування** полягає у введенні у воду хлору або хлорного вапна й забезпечує повне знищення хвороботворних бактерій. При проектуванні знезаражуючих установок дози хлору встановлюються, виходячи з необхідності очищення води в періоди найбільшого забруднення (весняні паводки й ін.). Показником достатньої дози хлору слугує вміст у воді залишкового хлору, тобто того, який залишився після окислення речовин, що містились у воді. Згідно з діючими стандартами, концентрація залишкового хлору у воді перед поданням споживачу не повинна перевищувати 0,5 мг/дм<sup>3</sup>. Для знезараження річкової води дозу хлору приймають 1–3 мг/дм<sup>3</sup>, підземної – не більше 1,5 мг/дм<sup>3</sup>.

На очисних станціях рідкий хлор (або хлористе вапно) попередньо змішують у спеціальних приборах-дозаторах (або баках) із певною кількістю води. Одержану хлорну воду за допомогою дозаторів подають у питну воду або у воду для краплинного зрошення. Для зниження запаху хлору хлоровану воду витримують на станціях дві години, і тільки потім направляють у водопроводи.

**Озонування води** має ряд переваг у порівнянні з хлоруванням. Озон забезпечує надійне знезараження води, і не погіршує її смакові якості та не надає неприємного запаху. Одержують озон безпосередньо на очисних станціях за допомогою озонаторів. Атмосферне повітря при цьому має бути чистим від пилу й сухим. При вологому повітрі витрати електричної енергії для одержання озону збільшуються. Воду з озоном змішують у змішувачах. Озонована вода спочатку надходить у бак чистої води, а потім у водопровідну мережу. Дози озону при озонуванні води можуть складати 0,6–3,5 мг/дм<sup>3</sup>.

Озон токсичний, тому в приміщенні, де знаходяться люди, його вміст не повинен перевищувати 0,00001 мг/дм<sup>3</sup>.

**Бактерицидне опромінення ультрафіолетовими хвилями** полягає у знищенні бактерій, що містяться у воді. Виконують його на спеціальних установках, які мають ртутно-кварцові або аргонно-ртутні лампи. Вода тонким шаром обтікає лампи, перемішується й, піддаючись опроміненню, знезаражується.

Опромінення не потребує введення в оброблювану воду будь-яких реагентів, смакові якості води не погіршуються, вартість опромінення не вища вартості хлорування, але цей метод, придатний тільки для освітленої води з доброю проникністю для променів.

**Знезалізнєння води.** У водах часто міститься бікарбонат заліза. При стиранні з повітрям він втрачає СО<sub>2</sub> й переходить у водний окис заліза, коагулює й випадає у вигляді бурого осаду, надаючи воді неприємний смак.

Разом із тим випадаючи на стінки водопровідної мережі, забруднює їх, послаблює витікання води з крапельниць, а іноді й повністю їх закупорює.

Найбільш універсальний і ефективний спосіб видалення заліза з води – це хлорування. Очистити воду від надлишків заліза можна й аерацією дощуванням. При дощуванні дрібні краплини води під час падіння стикаються з повітрям і при цьому розчинні форми солей заліза переходять у нерозчинні. Утворений осад потім затримується на піщаних фільтрах.

### 3.4. Вплив зрошувальної води на стійкість бетонних і залізобетонних конструкцій

Бетон є популярним в сучасному будівництві штучним матеріалом, який має відмінні характеристики міцності. Його часто застосовують у гідротехнічному будівництві для добування природної води, яку доставляють до зрошуваних масивів, особливо туди де потрібні великі обсяги води для проведення поливів. Це насамперед магістральні трубопроводи великих діаметрів, магістральні канали, водозабірні споруди, аванкамери насосних станцій тощо.

У багатьох місцевостях, переважно в зонах лісу і лісостепу, в складі ґрунтових і поверхневих вод часто містяться гідрокарбонати ( $\text{HCO}_3^{1-}$ ) і вільна вуглекислота ( $\text{CO}_2$ ), що переводять в розчин кальцій бетону. Такі води характеризуються вилуговуючою і вуглекислою агресивністю по відношенню до бетону.

У зонах степу, напівпустелі і пустелі, особливо в районах поширення солончаків, у складі ґрунтових і поверхневих вод часто присутні сульфат ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), хлориди ( $\text{Cl}^-$ ) і магній ( $\text{Mg}^{2+}$ ) іони. Сульфат-іон взаємодіє з бетоном, причому утворюються нові сполуки, які значно збільшують об'єм (цементна бацила), що призводить до постійного руйнування бетону. Іон магнію витісняє з бетону кальцій, тобто теж роз'їдає бетон. Таким чином, ці ґрунтові води мають сульфатну або магнезіальну агресивність по відношенню до бетону.

Агресивні води впливають на бетон гідротехнічних споруд на зрошувальних системах. Ступінь агресивності різних видів оцінюють за санітарними нормами «Ознаки і норми агресивності води для залізобетонних конструкцій». Для боротьби зі шкідливою дією агресивних вод застосовують сульфатостійкі марки цементу, особливо щільний бетон, бітумні та інші покриття.

Суть корозійних процесів у бетоні визначена завдяки цілому ряду досліджень, у ході яких були знайдені і найефективніші методи боротьби з процесами руйнації. Були визначені основні види корозії бетону:

- вимивання важливих елементів структури;
- вплив агресивних речовин і кислот, що містяться у воді;
- біокорозія.

**Вимивання компонентів** – це найпоширеніший різновид незворотного руйнування бетону. Велика частина виробів із цього міцного матеріалу експлуатується в умовах відкритого повітря і знаходиться під постійним впливом атмосферних опадів рідких середовищ різного типу.

Складовою частиною основи є *гідрат окису кальцію*, який в першу чергу розчиняється під дією вологи і води. Гідроксид кальцію поступово руйнується і змивається, замінюючи і руйнуючи при цьому структуру виробу.

**Корозія при взаємодії з кислотами, які містяться у воді.** У процесі впливу кислот, відбувається збільшення обсягів матеріалу або вимивання вапнякових сполук легкорозчинного типу. Цей вид руйнування виникає внаслідок впливу різноманітних агресивних речовин, у процесі зіткнення з якими утворюються два різновиди з'єднань: солі і аморфні маси.

Солі, що утворюються в даному процесі, можуть легко розчинятись і швидко вимиватися водою, аморфні маси і зовсім не мають жодних сполучних характеристик.

Корозія бетону кислотного типу виникає під впливом будь-якої з кислот, крім полікремнієвої і кремнефтористоводневої. Виникнення цих кислот стає причиною появи гідроалюмінатів, гідроферитів, гідросилікатів, які в процесі руйнування створюють легкорозчинні солі та інші маси аморфного типу.

Корозія бетону вуглекислотного типу являє собою тип загальнокислотної корозії, яка виникає внаслідок впливу на бетон води, що містить вільні вуглецеві діоксини. Перевищення обсягів вмісту негативної вуглекислоти, стає причиною руйнування раніше утвореної карбонатної плівки.

**Біокорозія** – це такий вид корозії, коли в порах і капілярах бетону утворюються солі нерозчинного характеру, поступове накопичення яких стає причиною ущільнення каменю і подальшого його руйнування. Крім того, бактерії, гриби та деякі види водоростей можуть проникати вглиб цементного каменю і розвиватися там. Результати їх метаболізму, які потрапляють в пори і стають причиною поступового руйнування каменю.

### *Запитання для самоконтролю*

1. На що впливають показники якості води за технічними критеріями?
2. Який спосіб поливу має найжорсткіші і найменші вимоги до якості зрошувальної води?
3. Яким чином впливає загальна мінералізація на якість зрошувальної води за технічними критеріями?
4. Як залізо і марганець у зрошувальній воді впливають на стан зрошувальної мережі?
5. Який негативний вплив чинить сірководень у зрошувальній воді?
6. Як негативно впливає на технічне обладнання зрошувальної мережі фітопланктон?
7. Від чого залежить швидкість біообростання трубопроводів і крапельниць?
8. Які заходи застосовують для попередження біообростання трубопроводів і крапельниць на зрошувальних системах?
9. Що таке індекс стабільності води?
10. Який підхід до визначення індексу стабільності запропонував Ланжельє?
11. Які показники якості води використав Ланжельє для розрахунку індексу стабільності води?
12. Що називають жорсткістю води і від чого вона залежить?
13. Що таке лужність води і як її визначають?
14. Як розраховують індекс стабільності Різнера?
15. Які співвідношення з індексами стабільності Ланжельє і Різнера?
16. Яким чином розраховують індекс Паккоріуса? Для чого його застосовують?
17. Що характеризує індекс Ларсона-Скольда?
18. На чому базується застосування індексу Стіффа-Девіса?
19. Що оцінює індекс Оддо-Томсона?
20. Які є спрощені розрахунки індексу Ланжельє?
21. Як зрошувальна вода може впливати на підвищення корозії бетонних і залізобетонних споруд на зрошувальних системах?
22. Що собою являє біокорозія?

## 4. ОЦІНКА ТОКСИЧНОСТІ СТІЧНИХ ВОД І УМОВИ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ ДЛЯ ЗРОШЕННЯ

Збільшення промислового виробництва та розвиток аграрного виробництва на інтенсивній основі, поліпшення побутових умов життя населення супроводжуються постійно зростаючим споживанням прісної води, скиданням великої кількості стоків у відкриті водойми. Основний напрям охорони природних вод від забруднення – це припинення скидання в них стічних вод.

*Стічні води* – неминучі відходи життєдіяльності людини, це води, збагачені промисловими чи господарсько-побутовими скидами, які виводяться з території населених пунктів і підприємств через систему водовідведення. Вони містять у собі органічні й мінеральні речовини.

До *органічних* належать мікроорганізми, фізіологічні виділення живих організмів, рослинні і тваринні рештки, хімічні сполуки. Серед мікроорганізмів нерідко зустрічаються хвороботворні, небезпечні для людини і тварин.

*Мінеральні* забруднення – це різні відходи виробництва, різноманітні суміші солей, а також мінеральні включення – пісок, мул, шлаки.

За фізичним станом забруднення бувають у *твердому* і *розчиненому* вигляді. Тверді й завислі речовини стічних вод виводяться за допомогою *механічної очистки*. Органічні речовини стоків небезпечні, через те що не відповідають вимогам санітарії, тому повинні підлягати розкладанню до мінеральних сполук за допомогою *мікроорганізмів*.

Стічні води після механічної очистки називаються *освітленими*, без даної очистки – *неосвітленими*.

*Удобрювальна* цінність стічних вод, що визначається джерелом їх виникнення, залежить від наявності в них поживних речовин і корисних ґрунтових мікроорганізмів. У 1000 м<sup>3</sup> господарсько-побутових стічних вод міститься 15–88 кг азоту, 16–18 кг калію, 12–16 кг фосфору, 20–150 кг кальцію і магнію. Стічні води тваринницьких комплексів ще багатші на поживні речовини: в 1000 м<sup>3</sup> стоків комплексу великої рогатої худоби міститься 180–460 кг азоту, 80–200 кг фосфору і 350–700 кг калію.

У результаті скидання таких стічних вод у відкриті водойми відзначається прогресуюче забруднення річок, водосховищ і навіть підземних басейнів, води яких у багатьох випадках стають непридатними навіть для комунального і виробничого споживання.

Світова практика випробувала багато способів, щоб зменшити чи припинити скид стічних вод у відкриті водойми: впровадження оборотної системи водопостачання, застосування безводних технологій виробництва, випаровування скидних вод, поповнення підземних водоносних горизонтів шляхом їх вбирання у ґрунт на полях фільтрації. З цією метою розроблено і перевірено у

виробництві багато методів очищення стічних вод: механічні, хімічні, фізико-хімічні, біологічні і комбіновані.

## 4.1. Види та оцінка стічних вод для зрошення

За походженням стічні води поділяють на 5 видів:

- господарсько-побутові;
- промислові;
- змішані;
- тваринницькі;
- атмосферні (зливові).

**Господарсько-побутові** – це стоки від житлових будинків, шкіл, їдалень та інших господарсько-побутових об'єктів. За складом ці домішки поділяють на *фекальні* і *господарські*. Максимальна витрата побутових стічних вод з 1 га житлової забудови міста залежно від густоти населення становить від 0,5 до 2 л/с або 10–15 тис. м<sup>3</sup> за рік.

За складом ці води порівняно однорідні. Вони містять органічні і мінеральні домішки, через велику кількість мікроорганізмів мають високу біологічну активність, часто забруднені яйцями гельмінтів, кількість яких досягає декількох сотень на 1 л стічних вод. Вони характеризуються бікарбонатно-сульфатним складом, нейтральною і слабколужною реакцією, низькою мінералізацією. До складу стічних вод входять сполуки кальцію, магнію, натрію, гідрокарбонатів, хлоридів, сульфатів і багатьох інших хімічних елементів та речовин. У зв'язку з наявністю у складі азотистих, фосфорних і калійних сполук господарсько-побутові стічні води мають удобрювальну цінність і, при використанні для зрошення, сприяють підвищенню врожайності сільськогосподарських культур.

Враховуючи те, що в цих стоках містяться збудники шлунково-кишкових захворювань, підготовка до поливу повинна включати не тільки механічне очищення, а й відстоювання протягом декількох годин у біологічних ставках.

Залежно від напряму розвитку промисловості, технології виробництва, питомої ваги промислових стічних вод у загальноміському водовідведенні змінюється склад міських стічних вод (табл. 4.1).

*Таблиця 4.1 – Хімічний склад біологічно очищених міських стічних вод, мг/л (Лозовіцький П.С. 2014)*

Показник	Київ	Харків	Донецьк	Луганськ	Одеса	Маріуполь
pH	8,2	8,0	8,2	7,8	7,5	7,9
HCO <sub>3</sub> <sup>-1</sup>	332	127	180	185	329	195
Cl <sup>-1</sup>	83	118	218	386	294	390
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	80	144	262	179	302	309
Ca <sup>+2</sup>	64	60	100	132	94	150
Mg <sup>+2</sup>	26	12	20	55	51	84
Na <sup>+1</sup>	80	135	142	215	193	205
K <sup>+1</sup>	14	17	17	11	29	11
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	4,3	1,2	6,7	4,3	6,7	2,7
N (загальний)	23	17	31	17	25	16
Сума солей	697	631	977	1184	1324	1373

**Промислові** – це відпрацьовані води промислових підприємств, різноманітні за хімічним складом і якістю. За технологічними ознаками їх можна розділити на три групи:

- *забруднені*, що містять інгредієнти, властиві технологічному виробництву;
- *умовно-чисті*, які не беруть участі в технологічному виробництві і використовуються для охолодження та інших підсобних операцій, також такі, які не містять забруднень, властивих виробництву;
- *змішані*, що потрапляють у системи водовідведення з території підприємств.

Промислові стічні води, що містять жири, масла, смоли нафтопродукти, забороняється скидати в загальну міську систему водовідведення без попередньої очистки. Не можна також скидати стоки підприємств важкої промисловості, заводів чорної металургії, рудозбагачувальних фабрик, машинобудівельних і хімічних підприємств.

Кожне промислове виробництво, згідно зі специфікою технологічного процесу, створює своєрідні стоки. В них містяться різноманітні речовини, які токсичні для рослин, людини і тварин. Різноманітність складу і постійна мінливість якості ускладнюють іригаційну оцінку промислових стічних вод і вивчення можливості використовувати їх на зрошення.

До промислових належать і води, які відкачують із шахт по добуванню руди і вугілля. *Шахтні води* – це суміш підземних вод декількох горизонтів, які збагачені мінеральними частками, газовими компонентами, органічною речовиною і мають несприятливий бактеріологічний склад. Мінералізація цих вод – 3–5 г/л, переважаючий тип засолення – сульфатний, удобрювальних речовин мало: азоту – до 10 мг/л, а калію – 3–20 мг/л. Висока мінералізація шахтних вод, сульфатний і хлоридний характери засолення потребують уважного підходу до застосування їх для поливу, суворого контролю за процесом нагромадження солей у ґрунті. Щорічне використання шахтних вод для зрошення викликає прогресивне засолення ґрунту.

**Змішані (міські)** – суміш господарсько-побутових і промислових стічних вод, за якістю – непостійні, що є наслідком індустріалізації міст і зростання частки промислових стоків.

Господарсько-побутові стічні води знижують мінералізацію, підвищують удобрювальну цінність і біологічну активність міського стоку.

Залежно від напрямку розвитку промисловості, технології, виробництва, питомої ваги промислових стічних вод у загальному стоці змінюється і склад міських (змішаних) стічних вод.

Хімічний склад дає можливість широко використовувати їх для зрошення, проте в окремих випадках, особливо в умовах Донбасу, півдня України, вони потребують поліпшення, яке полягає у зменшенні загальної мінералізації, внесенні у воду чи в зрошуваний ґрунт речовин, що містять кальцій (гіпс, хлористий кальцій вапняковий шлам та ін.), для запобігання осолонцювання земель.

**Тваринницькі стоки** – це суміш рідкого гною, що виводиться гідравлічним способом із тваринницьких комплексів, кормових відходів і води, яку використовують для миття тварин і обладнання, для переробки їх продукції.

Рідкий гній з тваринницьких приміщень видаляють скребковими транспортерами або водою – гідравлічним змиттям, під час якого він надходить самотічними бетонними каналами (жолобами) у гноєзбірник. У гноєзбірнику відбувається попереднє розділення гнійної рідини на три частини залежно від щільності складових часток: на дно випадають частки зі щільністю вищою за одиницю, вище їх розміщується шар рідини, а на її поверхні накопичується частина рідкого гною з щільністю менше одиниці (залишки кормів, підстилки і т. ін.)

Із дна гноєзбірника навантажувачем піднімають на поверхню щільний осад і вивозять на поля. Рідку частину стоків перекачують у горизонтальні відстійники-гноєнакопичувачі. У відстійниках стоки остаточно освітлюються, тобто рідкий гній розділяють на щільний осад і освітлений стік, яйця гельмінтів осаджуються на дно. Освітлені стоки із відстійників-гноєнакопичувачів надходять у земляні водойми-резервуари, а звідти у відкриту або закриту зрошувальну мережу. При поливі дощуванням стоки тваринницьких комплексів розбавляють чистою водою в зимових умовах 1:1, у літніх – 1:3 або 1:4.

У стічних водах тваринницьких комплексів вміст загального азоту досягає 0,3 %, фосфору – 0,08 %, калію – 0,7 %, але в процесі підготовки стоків до зрошення вміст цих речовин зменшується. Хімічний склад відходів тваринницьких комплексів наведено в табл. 4.2.

**Таблиця 4.2 – Хімічний склад відходів тваринницьких комплексів, мг/дм<sup>3</sup>**  
(Лозовіцький П.С. 2014)

Інгредієнт	Рідкий гній		Механічно очищені стоки		Біологічно очищені стоки свиней
	ВРХ	Свині	ВРХ	свині	
НСО <sub>3</sub> <sup>-</sup>	480–4420	2800–4210	600–2410	2257–3240	820–1895
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	115–440	90–410	45–115	70–360	66–334
СІ	110–640	55–625	50–620	210–415	230–375
Са <sup>2+</sup>	330–620	240–550	50–430	60–250	70–220
Мg <sup>2+</sup>	65–420	60–220	35–215	80–130	60–120
Na <sup>+</sup>	100–450	140–600	70–520	100–450	180–380
К <sup>+</sup>	300–730	170–1200	145–620	80–370	50–300
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	200–600	60–400	120–330	28–190	25–150
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0–95	0–80	2,0–4,5	сліди	сліди – 2,8
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	720–1100	640–900	320–830	220–580	55–310
N <sub>заг.</sub>	930–1500	910–1200	320–980	225–625	65–560
Сума солей	2440–7560	2120–5560	1680–4840	3010–5720	1470–2580
Мінералізація	2200–4260	2540–3500	1250–4350	1660–3610	1310–2200
pH	6,9–7,2	6,5–8,2	8,4–8,6	6,7–7,2	7,8–8,2

Стічні води тваринницьких комплексів характеризуються концентрацією солей в межах від 1,3 до 2,0 г/л, високою удобрювальною цінністю: вміст азоту досягає 5000 мг/л, фосфору – 2500, калію – 4500 мг/л; мають сприятливе відношення катіону натрію до суми катіонів кальцію і магнію.

Тваринницькі стоки містять велику кількість патогенних мікроорганізмів, таких як збудники лептоспірозів, сальмонельозів, ящуру, туберкульозу, бруцельозу та ін. В 1 мл гноївки зустрічається від 190 тис. до 23 млн клітин кишкової палички; від 70 тис. до 2 млн клітин дизентерійних бактерій; від 1,2 до 125 млн клітин мікроорганізмів тифопаратифозних груп. Близько 50 % ідентифікованої мікрофлори становлять умовно-патогенні і патогенні форми, здатні викликати важкі інфекційні захворювання тварин і людини. Наявність у тваринницьких стоках великої кількості хвороботворних мікроорганізмів потребує вживання спеціальних знезаражувальних заходів, найбільш раціональним з яких є удобрювальне зрошення.

Хімічні компоненти тваринницьких стоків швидко розкладаються в ґрунті, газоподібні втрати азоту при цьому досягають 24 %. У зв'язку з високим вмістом у стоках амонійного азоту при використанні для зрошення їх необхідно розбавляти. Ступінь розбавлення стоків чистою водою може бути від подвійного до десятиразового і більше.

Осад стічних вод тваринницьких комплексів має більш високу удобрювальну цінність, ніж гній. Він містить 2,9–4,5 % азоту, 1,2–2,7 % – фосфору і 0,2–0,5 % калію. Проте при їх внесенні необхідно дотримуватись рекомендацій за граничнодопустимою концентрацією шкідливих і поживних речовин (табл. 4.3).

**Таблиця 4.3 – Вимоги до хімічного складу стічних вод, мг/л, при використанні їх для зрошення сільськогосподарських культур (ДСТУ 7369:2013)**

Показник	Ґрунт			
	дерново-підзолистий	сірий лісовий	чорнозем	каштановий
pH	6,5–8,5	6,0–8,5	6,0–8,0	6,0–7,5
Сухий залишок	4000	3500	3000	2500
Na <sup>+1</sup>	400	300	250	200
K <sup>+1</sup>	200	150	100	100
Ca <sup>+2</sup>	800	600	450	600
Mg <sup>+2</sup>	250	200	200	1500
Cl <sup>-1</sup>	400	350	300	250
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	550	450	400	300
HCO <sub>3</sub> <sup>-1</sup>	2500	2000	1700	1500
N (загальний)	250	200	150	150
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	100	75	75	75

Висока удобрювальна цінність стічних вод тваринницьких стоків та їх твердого осаду потребує подальшого всебічного вивчення і розвитку технології застосування їх у аграрному виробництві.

**Атмосферні (зливові) стоки** – води, що надходять у зливову систему водовідведення під час дощів і танення снігу з території житлових масивів і підприємств, містять в основному механічні домішки, забруднення у вигляді пилу, сажі і піску. Удобрювальна цінність цих вод є низькою. Після механічного очищення їх можна використовувати для поливу сільськогосподарських культур.



## 4.2. Використання землеробських полів зрошення

Найбільш простим і вигідним способом утилізації стічних вод є використання на землеробських полях зрошення (ЗПЗ).

*Землеробські поля зрошення* – це спеціалізовані меліоративні системи, призначені для прийняття попередньо очищених стічних вод, щоб для використовувати їх для зрошення і удобрювання сільськогосподарських угідь, а також – доочищення в природних умовах.

У Єгипті, наприклад, де запаси води обмежені, а стічні води дуже забруднені, створені водно-болотні угіддя, що є перспективним, економічно вигідним способом, який використовують для очистки. У Єгипті і Тунісі стічні води широко застосовують у проєктах агролісомеліорації, підтримуючи як виробництво деревини, так і зусилля по боротьбі з опустелюванням.

У Центральній Мексиці міські стічні води вже давно використовуються для зрошення сільськогосподарських угідь. У минулому екологічні процеси допомогли знизити ризики для здоров'я. Нещодавно були введені обмеження на використання стічних вод для певних видів сільськогосподарських культур – деякі культури можна вирощувати за допомогою стічних вод, одержуючи задовільний результат, тоді як для інших культур потрібні інші умови з додаванням у систему монтажу очисних споруд.

В Йорданії на очищену воду припадають цілих 25 % від загального обсягу спожитої води в країні.

У США очищення і керування водоносними горизонтами є звичайною практикою, особливо на заході країни.

Згідно з дослідженнями, стоками найчастіше зрошують землю в п'яти країнах – Китаї, Індії, Мексиці, Пакистані та Ірані. В них розташовані 85 % від земель, що зрошуються стоками, а це більше половини всіх сільськогосподарських угідь світу.

Фермери використовують неочищені стічні води для поливу з двох причин. По-перше, вона багата поживними речовинами, тому що містять фекалії, а бідні аграрії часто не можуть собі дозволити купівлю хімічних добрив. По-друге, фермери використовують необроблену воду з потреби – іншої просто немає.

В Україні нині змішаними стоками зрошують 70 тис. га, промисловими – 10 тис. га і тваринницькими – 20 тис. га.

Найчастіше на землеробських полях зрошення застосовують тваринницькі стоки, тому в подальшому більша увага приділяється саме таким стокам.

Використання стічних вод на ЗПЗ дає змогу вирішувати такі завдання:

- підвищення родючості ґрунту;
- збільшення врожайності сільськогосподарських культур;
- утилізація гною і гнійних стоків;
- охорона водойм від забруднення.

На ЗПЗ, як і на спорудах штучного біологічного очищення, відбувається біохімічне окислення органічних речовин, засвоєння рослинами біогенних елементів і обеззараження патогенної мікрофлори.

На ЗПЗ застосовують не тільки стічні води, а і їх осади, які являють собою цінне органічне добриво. Азот у біомасі мулу стічних вод міститься в основному в амонійній і білковій формах, які легко мінералізуються в ґрунті і активно впливають на його гумусовий стан.

Розрізняють такі види ЗПЗ:

- з цілорічним прийманням стічних вод та цілорічним зрошенням;
- з цілорічним прийманням стічних вод у регулюючі ємності та зрошення сільськогосподарських культур тільки у вегетаційний період;
- із прийманням стічних вод і зрошенням тільки у вегетаційний період.

У практиці зрошуваних господарств України найчастіше застосовують сезонне використання стічних вод. На поля їх подають у теплий період року для вологозарядкових і вегетаційних поливів. В осінньо-зимовий період стічні води акумулюють у спеціальних нагромаджувальних ємностях і водосховищах. Якщо є труднощі з акумуляцією великої кількості стічних вод, то частину їх використовують для водообігового постачання, а залишок скидають у водойми після біологічного очищення.

ЗПЗ створюють на всіх типах ґрунтів, проте перевагу слід віддавати ґрунтам з доброю водопроникністю і аерацією – супіскам і легким суглинкам. Під ЗПЗ у першу чергу відводять малородючі чи непридатні землі, процес окультурювання яких відбувається значно швидше завдяки органічним речовинам стічних вод. Глинисті ґрунти небажано зрошувати стоками, бо внаслідок низької водопроникності на них не можна застосовувати високі поливні норми, а поліпшення водно-фізичних властивостей потребує великих і не завжди виправданих витрат. Не можна застосовувати стоки на ділянках з близьким (менше 1–2 м) заляганням ґрунтових вод, щоб не допустити засолення і заболочення ґрунту.

Категорично забороняється використовувати стічні води для зрошення в місцях вичленення водоносних горизонтів, що може призвести до забруднення артезіанських вод. Не допускається розташування ЗПЗ і на ділянках, які затоплюються під час повені.

Площа ЗПЗ, яка необхідна для використання стічних вод тваринницьких комплексів, визначається із розрахунку 1500 кг живої маси великої рогатої худоби і 1200 кг маси свиней на 1 га. Зрошувальна система, що працює на стічних водах, відрізняється від звичайної наявністю споруд для підготовки, накопичення і регулювання витрат стічних вод, можливістю мережі працювати в холодний період року.

Стічні води у своєму складі мають різні хімічні сполуки, яйця і личинки гельмінтів, алергенні, канцерогенні, мутагенні і токсичні речовини, а також патогенні мікроорганізми і віруси. Тому при використанні стічних вод для зрошення сільськогосподарських культур необхідно суворо дотримуватися санітарно-гігієнічних і ветеринарних вимог, які спрямовані на охорону навколишнього середовища від забруднення, на охорону здоров'я людей і тварин.

При близькому заляганні ґрунтових вод і при поливах високими поливними нормами застосовують закритий дренаж. В осушувальну мережу не допускається скидання стічних вод безпосередньо з поверхні ґрунту.

### 4.3. Особливості поливного режиму стічними водами

Поливний режим сільськогосподарських культур, які вирощують на ЗПЗ, має свої особливості, при його встановленні враховують таке:

- вода є фактором, що забезпечує ріст, розвиток і необхідне зволоження ґрунту;
- наявність у стічних водах поживних речовин;
- вміст мінеральних солей – хлоридів, сульфатів, карбонатів тощо, надлишок яких є загрозою засолення ґрунту, а також знижує її родючість;
- токсичність елементів і сполук, що містяться в стічних водах у результаті скидання промислових стоків.

Ціло річний цикл зрошення на ЗПЗ складається з двох періодів: вегетаційного і не вегетаційного, під час яких відбувається не тільки накопичення вологою, але і внесення добрив, що містяться у стічних водах. Таке зрошення називають удобрювальним. Проводять його переважно взимку. При цьому використовують неосвітлені стоки, які мають високу концентрацію елементів живлення органічних речовин. У вегетаційний період поливами задовольняється потреба культур у воді. Концентрація речовин у поливній воді має бути допустимою.

Норми і строки поливу стічними водами визначаються не тільки біологічними особливостями і потребами культур в удобрювальному зволоженні, але й необхідністю забезпечення безперервного приймання і розподілу води на ЗПЗ.

Річну зрошувальну норму ( $M$ ) визначають залежно від вмісту основних елементів живлення (азоту, фосфору і калію) в стічній воді за формулами:

$$M_N = \frac{1000 \cdot N}{a \cdot \alpha}; M_P = \frac{1000 \cdot P}{\phi \cdot \beta}; M_K = \frac{1000 \cdot K}{\kappa \cdot \gamma}, \quad (4.1)$$

де  $M_N$ ,  $M_P$ ,  $M_K$  – річні зрошувальні норми за забезпеченням сільськогосподарських культур відповідно азотом, фосфором і калієм, м<sup>3</sup>/га;

$N$ ,  $P$ ,  $K$  – норми внесення азоту, фосфору і калію під задану культуру при плановій врожайності, кг/га;

$a$ ,  $\phi$ ,  $\kappa$  – вміст азоту, фосфору і калію в стічній воді, мг/л;

$\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  – коефіцієнти використання азоту, фосфору і калію, що містяться в стічних водах (у середньому для розрахунку приймають коефіцієнти використання азоту і фосфору 0,6–0,7 і калію – 0,6).

Величину річної зрошувальної норми визначають за тим елементом живлення, який міститься в максимальній кількості в стічній воді, тобто поливна норма, розрахована за формулою (4.1), мінімальна. У господарсько-побутових водах основним елементом є азот; стоки свинарських комплексів, стічні води цукрових заводів у великій кількості містять калій.

Якщо величина річної зрошувальної норми у зв'язку з високою удобрювальною цінністю стічних вод є меншою за зрошувальну норму, що розрахована за дефіцитом водоспоживання, то різницю необхідно забезпечити подачею чистої води, якщо є можливість.

Річне навантаження стічних вод ділиться на *безвегетаційну* і *вегетаційну* зрошувальні норми. Безвегетаційна норма видається за один полив і величина її не повинна перевищувати вологоємкості 1,5–2,0-метрового шару ґрунту. У зв'язку з тим, що цей полив проводиться взимку, при розрахунках величини поливної норми враховують і тепло стічних вод, яке необхідне для повного розмороження мерзлого ґрунту.

Проведення зимового поливу в два етапи є небажаним. Повторні зимові поливи у зв'язку з високою температурою води створюють кригу, яка затрудняє проникненню води в ґрунт. Повторні поливи створюють додатковий шар криги, що на 10–15 днів затримує строки ранньовесняного обробітку ґрунту і сівби.

Поливна норма сільськогосподарських культур на ЗПЗ має відповідати потребам рослин у воді, елементам живлення і визначатися водозатримувальним і самоочисними властивостями ґрунту. Норма навантаження стічних вод не повинна перевищувати 5–20 м<sup>3</sup>/га на добу.

Режим зрошення сільськогосподарських культур стічними водами відрізняється від їх зрошення природними водами тривалістю міжполивного періоду, який за санітарними правилами має становити 14–15 днів, цього часу достатньо для загибелі бактерій та інших мікроорганізмів.

Величина поливної норми вегетаційних поливів господарсько-побутовими чи змішаними стічними водами змінюється від 200 до 500 м<sup>3</sup>/га, а при поливі тваринницькими стоками – від 120 до 240 м<sup>3</sup>/га. Малі поливні норми сприяють ефективному використанню поживних речовин, що містяться в стічній воді, а також кращому їх знешкодженню.

## 4.4. Вимоги до якості стічних вод

Оцінку якості стічних вод для зрошення проводять за критеріями й нормованими показниками, встановленими ДСТУ 7369:2013 і ДСТУ 2730:2015 та чинними національними стандартами щодо якості води для зрошення.

Стічні води з показниками якості, що перевищують встановлені норми, заборонено використовувати для зрошення без додаткового поліпшення їхнього складу і властивостей та обов'язкового застосування комплексу агроеліоративних заходів.

Для зрошування використовують воду придатності класу I, II і III залежно від вмісту важких металів та інших елементів. Вміст у стічних водах важких металів та інших хімічних елементів наведено в табл. 4.4.

Біологічно очищені стічні води, які використовують для зрошення, не повинні містити патогенних кишкових бактерій, вірулентних вірусів, життєздатних яєць гельмінтів, цист патогенних кишкових найпростіших.

Вода є придатною для зрошення, якщо кількість бактерій групи кишкових паличок (коліформних мікроорганізмів) у 1 дм<sup>3</sup> досліджуваної стічної води (індекс БГКП) не перевищує 1000 коліутворювальних одиниць (мікроорганізмів) у 1 дм<sup>3</sup> (КУО/дм<sup>3</sup>); кількість колі-фагів у 1 дм<sup>3</sup> не більше ніж 1000 бляшкоутворювальних одиниць (БУО/дм<sup>3</sup>).

**Таблиця 4.4 – Допустимий вміст важких металів та інших елементів, мг/дм<sup>3</sup>**  
(СОУ 41.00-37-688:2007)

Хімічний елемент	Лімітуючий показник шкідливості	Допустимий вміст, мг/дм <sup>3</sup>			Клас небезпеки
		клас придатності			
		I	II	III	
Бор	Санітарно-токсикологічний	Менше 0,5	0,5–1,0	Понад 1,0	2
Кадмій	Санітарно-токсикологічний	Менше 0,005	0,005–0,01	Понад 0,01	2
Кобальт	Санітарно-токсикологічний	Менше 0,03	0,03–0,05	Понад 0,05	2
Нікель	Санітарно-токсикологічний	Менше 0,08	0,08–0,2	Понад 0,2	3
Марганець	Загальносанітарний	Менше 0,5	0,5–1,0	Понад 1,0	3
Мідь	Загальносанітарний	Менше 0,08	0,08–0,2	Понад 0,2	3
Ртуть	Санітарно-токсикологічний	Менше 0,002	0,002–0,005	Понад 0,005	1
Свинець	Санітарно-токсикологічний	Менше 0,03	0,03–0,1	Понад 0,1	2
Фтор	Санітарно-токсикологічний	Менше 0,7	0,7–1,5	Понад 1,5	3
Хром <sup>+5</sup>	Санітарно-токсикологічний	Менше 0,2	0,2–0,5	Понад 0,5	3
Хром <sup>+6</sup>	Санітарно-токсикологічний	Менше 0,05	0,05–0,15	Понад 0,15	3
Цинк	Загальносанітарний	Менше 1,0	1,0–5,0	Понад 5,0	3

Для оцінювання якості стічної води визначають такі показники, як вміст фенолу, нафти та поверхнево-активних речовин (детергентів). Кількість цих речовин у зрошувальній воді обмежують за показниками фітотоксичності та санітарної токсичності. Воду вважають придатною для зрошення, якщо вміст цих речовин не перевищує допустимих концентрацій (табл. 4.5).

**Таблиця 4.5 – Допустимий вміст фенолу, нафти та поверхнево-активних речовин у стічних водах (ДСТУ 3041-95)**

Речовина	Допустимий вміст, мг/дм <sup>3</sup>	Лімітуючий показник шкідливості	Клас небезпеки
Фенол	Менше 0,1	Органолептичний – запах	4
Нафта багатосірчана	Менше 0,1	Органолептичний – плівка	4
Нафта інша	Менше 0,3	Органолептичний – плівка	4
Поверхнево-активні речовини	Менше 0,2	Органолептичний – піна	4

Умови використання стічних вод для зрошення та технологічні параметри залежно від класів придатності визначають спеціалізовані організації за погодженням з уповноваженими на це санітарними організаціями.

## 4.5. Вимоги до якості осадів стічних вод

Осади стічних вод, що використовуються для удобрення, мають відповідати вимогам, наведеним у табл. 4.6, 4.7, 4.8.

Агрономічні показники осадів включають показники, які впливають на родючість ґрунту і врожайність сільськогосподарських культур (табл. 4.6), основними із них є наявність поживних речовин у осадах стічних вод.

Дозу внесення осаду на одиницю площі сільськогосподарських угідь обчислюють з урахуванням фактичного вмісту загального азоту в осадах, ґрунті та виносу вирощуваною культурою за формулою

Таблиця 4.6 – Агрономічні показники осадів (ДСТУ 7369:2013)

Показник	Норма	Метод визначення
Масова частка органічної речовини, % на суху речовину, не менше ніж	40	ГОСТ 27980
Водневий показник, рН	6,5–7,5*	ГОСТ 27979
Масова частка поживних речовин, % на суху речовину, не менше ніж:		
- азот загальний	1,5	ГОСТ 26715
- фосфор загальний	0,7	ГОСТ 2617
Примітка. * Осади зі значеннями водневого показника (рН) понад 7,5 можна використовувати на землях з кислою реакцією ґрунтового розчину		

$$N_{\text{навантаж}} = \frac{10 \cdot U_p \cdot N_v}{(100 - B) N_d}, \quad (4.2)$$

де  $N_{\text{навантаж}}$  – доза внесення осадів, т/га;

$U_p$  – очікувана (планова) врожайність сільськогосподарських культур, ц/га;

$N_v$  – винос азоту сільськогосподарською культурою, кг/га (за даними агрохімічних довідників);

$B$  – вологість осадів, що вносять до ґрунту, %;

$N_d$  – вміст доступного для рослин азоту в осадах, кг/т сухої речовини, обчислюють за формулою

$$N_d = (N_{\text{ам}} \cdot 10) + (N_{\text{ніт}} \cdot 10) + (N_{\text{орг}} \cdot 2), \quad (4.3)$$

де  $N_{\text{ам}}$ ,  $N_{\text{ніт}}$ ,  $N_{\text{орг}}$  – відповідно азот амонійний, нітратний, органічний у перерахунку на суху речовину, кг/т;

10 і 2 – коефіцієнти засвоєння рослинами різних форм азоту.

Визначають якість осадів стічних вод за санітарно-бактеріологічними та паразитологічними показниками за методиками, затвердженими в установленому порядку (табл. 4.7).

Таблиця 4.7 – Санітарно-гігієнічні показники осадів стічних вод (ДСТУ 7369:2013)

Назва показника	Норма
Індекс бактерій групи кишкової палички (індекс БГКП), од./дм <sup>3</sup>	Не більше ніж 50 000
Патогенні мікроорганізми, зокрема сальмонели	Не дозволено
Життєздатні яйця геогельмінтів	Не дозволено

Радіологічні показники якості осадів стічних вод, що їх використовують на добриво, не повинні перевищувати значень фонові радіоактивності ґрунтів у районі застосування цих добрив.

Залежно від концентрації важких металів, визначеної за методиками хімічних аналізів, які розроблено згідно з ГОСТ 8.010-99, осад поділяють на п'ять класифікаційних груп (табл. 4.8).

Допустиму дозу внесення осадів у ґрунт залежно від вмісту в них важких металів визначають з урахуванням ГДК металів у ґрунті та їхнього фонового вмісту (табл.4.9).

**Таблиця 4.8 – Класифікаційні групи допустимих величин вмісту важких металів у осадах, мг/кг сухої речовини (обмеження в дозах, частотні внесення і сфери застосування (ДСТУ 3041-95)**

Показник	Група 1	Група 2	Група 3	Група 4	Група 5
	Використання або виготовлення компосту в дозах, адекватних стандартним добривам	Використання в дозі 3–4 т/га за сухою речовиною щорічно або не більше ніж 10 т/га раз на три роки	Використання в дозі 5–6 т/га за сухою речовиною один раз на 5–7 років з обов'язковим контролюванням фонового вмісту елементів у ґрунтах	Не дозволено використовувати для удобрення сільськогосподарських культур без попереднього оброблення, можна використовувати лише як компонент для виготовлення компосту з органічними наповнювачами	Заборонено використовувати в сільському господарстві, можна застосовувати для удобрення декоративних насаджень, у зеленому лісопарковому господарстві (рекультивация земель)
виготовлення органо-мінеральних біоактивних добавок з внесенням у дозах 1–3 т/га					
Стронцій	50–70	75–100	100–300	300–500	400–500
Свинець	100–200	400–600	600–750	750–1200	1200–1500
Ртуть	2–5	5–10	10–15	15–20	20–30
Кадмій	3–5	5–15	15–30	30–40	30–40
Нікель	50–75	75–150	150–200	200–400	400–600
Хром <sup>+3</sup>	100–400	400–600	600–750	750–2000	2000–4000
Марганець	250–750	750–1500	1500–2000	2000–3000	3000–6000
Цинк	300–1000	1000–2000	2000–2500	2500–2500	4000–7000
Мідь	100–300	300–700	700–1500	1500–2500	2500–4000
Кобальт	5–20	20–50	50–100	100–150	150–200

**Таблиця 4.9 – Граничнодопустимі концентрації важких металів та їх фоновий вміст в основних типах ґрунтів зон лісостепу і степу (ДСТУ 3041-95)**

Хімічний елемент	Значення ГДК, валовий вміст, мг/кг сухої речовини		Фоновий вміст, мг/кг сухої речовини	
	зона Лісостепу (типів чорноземи, темно-сірі, сірі лісові, світло-сірі ґрунти, рН < 7,0)	зона Степу (чорноземні, темно-каштанові ґрунти, рН > 7,0)	середній вміст (кларки) (за Виноградовим)	звичайний вміст у ґрунті (за Кіоке)
Кадмій	3	5	0,5	0,01–1,00
Свинець	100	150	10	0,1–20
Хром	100	300	200	2–50
Цинк	300	500	50	3–50
Мідь	100	200	20	1–200
Марганець	1500	3000	850	-
Нікель	50	70	40	2–50
Кобальт	30	50	8	1–10
Молибден	4	5	3	0,2–5,0

Обчислення допустимої дози внесення осадів стічних вод у ґрунт залежно від вмісту в них важких металів ґрунтується на визначенні кількості внесення осадів, які містять різницю між ГДК важких металів у ґрунті та їх фоновим вмістом, і виконують його за формулою:

$$H_{BM} = \frac{(ГДК - \Phi) \cdot 3 \cdot 10^3}{C}, \quad (4.4)$$

де  $H_{BM}$  – допустима доза внесення осадів у ґрунт у розрахунку на суху речовину, т/га;

$ГДК$  – граничнодопустима концентрація металу в ґрунті, мг/кг сухої речовини (табл. 4.6);

$\Phi$  – фоновий вміст металу в ґрунті, мг/кг (табл. 4.9);

$C$  – вміст металу в осадах, мг/кг сухої речовини;

$3 \cdot 10^3$  – маса орного шару ґрунту в перерахунку на суху речовину, т/га.

Обчислюють дозу за вмістом кожного металу.

Осади вносять у ґрунт у дозах, що відповідають найменшому значенню серед тих, що визначені залежно від нормованих ДСТУ 7369:2013 показників якості осадів стічних вод.

У разі вмісту в осадах, не нормованих важких металів, щодо яких встановлено ГДК у ґрунтах, дозу внесення визначають згідно з табл. 4.9.

Порядок застосування осадів для удобрення визначають технологічним регламентом, який розробляють спеціалізовані організації з урахуванням регіональних і місцевих умов, зокрема властивостей і гідрологічного режиму ґрунтів, вмісту в осадах і ґрунтах нормованих забруднень, особливостей вирощування культур, прийнятої сівозміни тощо.

## 4.6. Вплив стічних вод на родючість ґрунту

Виробничий досвід і багаточисленні дослідження вчених свідчать, що при систематичному цілорічному зрошенні стічними водами і при дотриманні оптимального поливного режиму родючість ґрунту постійно підвищується, збільшується вміст гумусу, загального і гідролізованого азоту, рухливих форм фосфору і калію, поліпшується реакція ґрунтового середовища. Нагромадження органічних речовин в орному шарі збільшує вологоємність ґрунту і поліпшує її меліоративний стан.

Використання для поливу стічних вод хімічних підприємств, що мають низьку удобрювальну цінність, призводить до зниження в ґрунті доступних поживних речовин, поглинутого натрію і водорозчинних солей.

Поливи мінералізованими водами, особливо при високих зрошувальних нормах, знижують родючість ґрунту і призводять до значної концентрації в орному шарі солей. За дослідженнями встановлено, що трирічне інтенсивне зрошення змішаними стоками посівів люцерни підвищило вміст хлору в шарі ґрунту 0–40 см на 65,3 %. У зв'язку з цим на ЗПЗ слід постійно контролювати за накопиченням солей у ґрунті, а за необхідності вжити заходів щодо його розсолення: сіяти солевитривалі культури, проводити глибоку оранку і промивні



поливи, вносити меліоруючі речовини. Ці заходи частково відновлюють родючість осолонцьованих ґрунтів і доводять його до 65–75 % від початкового.

При зрошенні стічними водами ґрунт ЗПЗ переущільнюється, знижується його водопроникність, підвищується в поглинених основах уміст обмінного натрію, а частка кальцію зменшується, що призводить до зниження водостійкості агрегатів. Під впливом шкідливих речовин стічних вод знижується каталазна активність ґрунту.

Мул промислових стоків збільшує в ґрунті вміст свинцю, цинку, міді, кобальту та інших токсичних важких металів.

Тваринницькі стоки високою удобрювальною цінністю створюють сприятливе середовище для патогенних мікроорганізмів, яєць гельмінтів – джерел зараження тварин і людини. В анаеробних умовах фітопатогенні мікроби і мікроби-інгібітори ґрунту своїми токсинами отруйно впливають на рослини, посилюють умовну біологічну токсичність середовища.

## **4.7. Вимоги щодо охорони довкілля при зрошенні стічними водами**

Головна небезпека використання стічних вод для зрошення полягає в тому, що за допомогою стічних вод переносяться різні хвороби і паразити (від сальмонели до гельмінтів). Дослідники вважають, що велика кількість людей, які споживають сиру продукцію, стикаються з підвищеними загрозами безпеки харчових продуктів. Так, наприклад, зафіксовано кілька таких випадків, коли продукція із Мексики, яка імпортована в США і Канаду, спричинила спалахи хвороб. Це були мускатні дині з сальмонелою, зелена цибуля з гепатитом А, базилік, салат і свіжа кінза з циклоспоріазом.

За санітарно-гігієнічними умовами на зрошувальних системах, де використовуються стічні води, дозволяється поливати такі культури:

- технічні, зернові, кормові і силосні;
- однорічні та багаторічні трави;
- овочеві, що вживаються після термічної обробки (буряки, кабачки, баклажани);
- картоплю;
- плодово-ягідні та декоративні насадження;
- будь-які культури при внутрішньогрунтового зрошенні.

Не допускається використовувати стічні води для зрошення:

- у санітарно-курортній зоні;
- на території 1-го та 2-го поясів зон санітарної охорони водозаборів;
- у радіусі 1 км від водозабору з поверхневого джерела;
- у районі місць з виходом на поверхню тріщинуватих та інших нещільних порід, які не забезпечують надійну гідроізоляцію підземних вод питної якості;
- у районах з глибиною залягання ґрунтових вод менше 1,25 м на супіщаних та піщаних ґрунтах і менше 1,0 м на суглинистих та глинистих ґрунтах і торф'яниках без облаштування дренажу;

- на полях, призначених для вирощування сільськогосподарських культур, що вживаються людиною в сирому вигляді (овочів, баштанних культур).

Коли обирають ділянки для зрошувальних систем з використанням підготовлених стічних вод, то потрібно передбачати санітарно-захисні зони (розриви). Відстань від ділянки зрошення до межі населеного пункту має бути не менше:

- 100 м – для систем внутрішньогрунтового зрошення;
- 200 м – для систем поверхнево-самопливного поливу;
- 300 м – для систем під дощувальні короткострумінні машини зі спрямованими вниз апаратами;
- 500 м – для систем під дощувальні середньострумінні машини;
- 750 м – для систем під дощувальні далекострумінні машини.

Відстань між зрошувальними ділянками і магістральними шляхами повинна бути не менше ніж 100 м разом зі смугою відчуження.

Для санітарно-гігієнічної безпеки потрібно передбачати влаштування санітарно-захисної смуги (лісосмуги) шириною 15 м з боку населеного пункту і шириною 10 м уздовж магістральних доріг. Санітарно-захисні смуги необхідно влаштовувати згідно з ДБН 360.

При будівництві й експлуатації ЗПЗ необхідно враховувати такі санітарно-гігієнічні вимоги:

- ділянки мають бути сплановані і обнесені валом, який запобігає скиданню стічних вод;
- на полях зрошення мають бути передбачені спеціальні приміщення для приймання їжі, відпочинку, зберігання поливного реманенту і спецодягу;
- персонал, що працює зі стічними водами, повинен добре знати санітарні правила, правила особистої гігієни, щорічно підлягати профілактичному щепленню проти кишкових інфекцій і обстеженню на гельмінти з подальшою дегельмінтизацією;
- вегетаційні поливи необхідно припиняти: під плодові – за 2 міс., під овочеві – за 20 днів, а під усі інші сільськогосподарські культури – за 14 днів до збирання врожаю. Карантинний строк між останнім поливом і початком випасання пасовищного корму також має бути не менше 14 днів;
- овочі, зібрані зі зрошуваних ділянок, треба складати на підстилку чи в тару, але не на ґрунт;
- у процесі експлуатації ЗПЗ необхідно періодично контролювати хімічний склад стічних вод, а також – рівень і стан ґрунтових вод, для чого в системі ЗПЗ необхідно передбачати будівництво гідрорежимних свердловин;

Відповідальність за правильну роботу ЗПЗ, за охорону праці робітників, за дотримання ветеринарних і санітарно-гігієнічних вимог покладається на керівника господарства.

Основні гігієнічні вимоги до сільськогосподарського використання осаду стічних вод тваринницьких ферм і комплексів, які спрямовані на охорону навколишнього середовища від забруднення на інвазійні захворювання серед людей і тварин:

- не дозволено використовувати осади на землях природно-заповідного фонду та іншого природоохоронного, оздоровчого і рекреаційного призначення, на землях водного фонду та інших територіях, що підлягають особливій охороні, і на землях, які використовують для випасання худоби, вирощування овочів та фруктів, а також на землях, де вміст будь-якої з токсичних речовин перевищує граничнодопустиму концентрацію;
- заборонено використовувати осад у зонах санітарної охорони курортів, вододжерел і мінеральних джерел, а також при виході на поверхню карстових та шпаруватих порід;
- перед подачею на поля осад повинен пройти карантинне витримання у гноєсховищах не менше 6 діб, за цей час він звільняється від патогенних мікроорганізмів і яєць гельмінтів;
- знезараження під час епізоотій за допомогою формальдегіду в карантинних ємкостях;
- механічна обробка рідкого гною для виділення з його маси твердих частинок;
- попередня підготовка осаду в спорудах штучного біологічного очищення чи біологічних ставках;
- тверду фракцію гною необхідно компостувати на спеціальних гідрозольованих майданчиках протягом 6–8 місяців, причому половина цього строку має припадати на теплий період року.

На ЗПЗ при використанні осаду можливе зараження тварин яйцями гельмінтів, тому зелену масу кормових культур необхідно силосувати протягом 45–60 діб або переробляти на вітамінне борошно.

Використовують для удобрення ґрунтів осади стічних вод, що накопичуються на водоочисних спорудах, з дозволу органу виконавчої влади з питань екології і природних ресурсів за погодженням з органами виконавчої влади з питань аграрної політики та охорони здоров'я.

Якість стічних вод та їх осади контролюють уповноважені на це органи виконавчої влади.

На кожну партію осаду стічних вод постачальник надає паспорт і сертифікат відповідності, який розробляє уповноважений орган на проведення таких робіт.

## **4.8. Ефективність зрошення стічними водами**

Стічні води позитивно впливають на ріст, розвиток, урожайність сільськогосподарських культур та на їх якість (табл. 4.10).

Залежно від погодних умов урожайність сільськогосподарських культур при поливі стічними водами підвищується в 2–3 рази, а врожайність багаторіч-

них трав при інтенсивному цілорічному зрошенні – в 3–5 і навіть у 8–10 разів. Зелена маса трав, вирощених на ЗПЗ, містить більше сирого протеїну, золи, кальцію, фосфору і менше цукру порівняно з неполивною травою. Кількість кормів, які поїдає худоба, із ЗПЗ, є великою і коливається від 84 % до 96 %.

**Таблиця 4.10. Урожайність і якість зеленої маси кукурудзи при зрошенні**  
(ДСТУ 7369:2013)

Варіант	Урожайність зеленої маси, ц/га	Вміст, % на суху речовину			Збір білка, ц/га
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
Без зрошення – контроль	173	1,03	0,61	1,00	3,3
Зрошення чистою водою	289	1,15	0,66	1,14	5,7
Зрошення стічними водами	449	1,27	0,69	1,31	9,6
Зрошення стічними водами + 60 т/га осаду	657	1,30	0,70	1,44	14,9

Шахтні води Донбасу підвищують урожайність сільськогосподарських культур у 1,3–1,5 рази, а тваринницькі стоки, завдяки високій удобрювальній цінності, – у 4–6 разів.

Використання ЗПЗ є ефективним засобом очищення стічних вод і підвищення виробництва продукції землеробства. Окупність ЗПЗ залежить від ґрунтово-кліматичних умов їх розміщення, від вирощуваної культури та її поливного режиму, строк окупності тільки за рахунок прибутків аграрного виробництва не перевищує 5–8 років.

Зрошення стічними водами, викликане необхідністю охорони природних ресурсів, є важливим резервом інтенсифікації аграрного виробництва, тому ЗПЗ мають повсюдно стати обов'язковим елементом приміського ландшафту.

#### **Завдання 4.1. Розрахунок режиму зрошення на зрошуваних полях землеробства**

*Дано:* 1. Основний вид тварин на комплексі – свині на відгодівлі.

2. Поголів'я тварин – 2000 голів.

3. Основна вирощувана сільськогосподарська культура – це кукурудза на силос.

4. Проектна урожайність – 60 т/га.

5. Кратність розбавлення тваринницьких екскрементів – 20.

*Необхідно:* 1. Розрахувати прогнозу добову кількість виходу поживних речовин (N, P, K).

2. Розрахувати зрошувальну норму, виходячи із удобрювальної цінності тваринницьких стоків.

3. Визначити потрібну площу землеробських полів зрошення.

*Розв'язок.*

**1. Добовий вихід екскрементів від однієї тварини** орієнтовно можна визначити за табл. 4.11, для свиней на відгодівлі він коливається від 3,5 до 6,6 кг. Для розглянутого прикладу приймаємо 5 кг від однієї тварини.

Вміст поживних речовин (N, P, K), згідно табл. 4.12, складає: азоту – 0,51 %, фосфору – 0,22 %; калію – 0,46 % від загального об'єму стоків.

Можлива кількість поживних речовин (N, P, K) у стоках однієї тварини

$$N = \frac{M_c \cdot P_N}{100} = \frac{5 \cdot 0,51}{100} = 0,0255 \text{ кг};$$

$$P = \frac{M_c \cdot P_P}{100} = \frac{5 \cdot 0,22}{100} = 0,011 \text{ кг};$$

$$N = \frac{M_c \cdot P_K}{100} = \frac{5 \cdot 0,46}{100} = 0,023 \text{ кг};$$

**Таблиця 4.11 – Добовий вихід екскрементів (кг) від однієї тварини (ВБН 46/33-2.5-5-96)**

Тварина	Добовий вихід екскрементів, кг
Бици	40
Корови	55
Телята	75
Свиноматки	8,8–15,3
Кабани	11,1
Поросята	2,4
Свині на відгодівлі і ремонтний молодняк	3,5-6,6

**Таблиця 4.12 – Приблизний хімічний склад екскрементів тварин, % від загального об'єму стоків**

Тварина	H <sub>2</sub> O	N	P	K
Свині	90,3	0,51	0,22	0,46
Велика рогата худоба	86,7	0,38	0,13	0,22

Прогнозна кількість поживних речовин (N, P, K) у стоках 2000 голів свиней:

$$N = 0,0255 \cdot 2000 = 51 \text{ кг/добу або } 18,1 \text{ т/рік};$$

$$P = 0,011 \cdot 2000 = 22 \text{ кг/добу або } 8,03 \text{ т/рік};$$

$$K = 0,23 \cdot 2000 = 46 \text{ кг/добу або } 16,8 \text{ т/рік}.$$

**2. Зрошувальну норму**, тобто кількість води, яку необхідно подати на 1 га протягом вегетаційного періоду, визначають залежно від сільськогосподарської культури і погодних умов, наприклад методом А.М. та А.С. Алпатьєвих, О.М. Костякова, В.П. Остапчика чи ін. У даній вправі пропонується зрошувальну норму прийняти, як водозберігаючу за ДБН В.2.4-1-99. Для розглянутого прикладу, зрошувальна норма для кукурудзи на силос в умовах Північного Степу при  $p=75\%$  складає 2200 м<sup>3</sup>/га.

Необхідну річну зрошувальну норму стічних вод ( $M_c$ ) визначають величиною виносу поживних елементів (N, P, K), і проектним врожаєм сільськогосподарських культур

$$M_c = \frac{B \cdot \beta \cdot k_{вт}}{10k_1Z}, \quad (4.5)$$

де  $B$  – винос поживних речовин з ґрунту прогнозним врожаєм (приймають за дослідними даними зональних і обласних сільськогосподарських станцій), кг/га.

$\beta$  – коефіцієнт забезпеченості ґрунту поживними речовинами,  $\beta=1,2, 1,0$  і  $0,8$  відповідно при категорії забезпеченості низькій, середній і підвищеній;

$k_{вт}$  – коефіцієнт втрат поживних речовин при збереженні і внесенні;

$k_1$  – коефіцієнт використання поживних речовин рослинами із стоків (для азоту  $k_1=0,7$ , для фосфору і калію  $k_1=0,6$ );

$Z$  – вміст поживних речовин у стоках, %.

Винос поживних речовин із ґрунту можна визначити з укрупнених норм залежно від виду продукції і врожайності сільськогосподарських культур за табл. 4.13.

При прогнозному врожаї кукурудзи на силос 600 ц/га або 60 т/га зеленої маси із ґрунту виноситься ( $B$ )  $N - 60,0 \cdot 5,1 = 306$ ,  $P - 60,0 \cdot 1,5 = 90$ ,  $K - 60,0 \cdot 6,0 = 360$  кг/га (табл. 4.13);

Коефіцієнт втрат поживних речовин при збереженні визначають за формулою

$$k_{вт} = 1 + k_{зб} + k_{вн}, \quad (4.6)$$

Таблиця 4.13 – Винос поживних речовин сільськогосподарськими культурами, кг

Сільськогосподарська культура	Основна культура	На 1 т основної і побічної продукції витрачається		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Пшениця озима	Зерно	30	12	28
Овес	Зерно	30	13	26
Ячмінь ярий	Зерно	30	13	26
Кукурудза	Зерно	23	10	21
Просо, гречка	Зерно	33	10	34
Горох	Зерно	66	16	20
Сорго	Зерно	29	14	34
Соняшник	Насіння	55	20	80
Буряки цукрові	Коренеплоди	5,5	1,6	6,0
Буряки кормові	Коренеплоди	4,0	1,2	5,0
Картопля	Булба	6,0	2,0	10
Зернобобові культури	Сіно	19	5,0	21
Люцерна, еспарцет	Сіно	17	5,0	15
Однорічні трави	Сіно	20	10	30
Кукурудза молочно-воскової стиглості	Силосна маса	5,1	1,5	6,0
Багаторічні трави (бобові)	Зелена маса	6,2	1,8	4,0
Однорічні трави	Зелена маса	3,9	1,3	4,5
Овочі в цілому	Плоди	4,0	2,0	5,0

де  $k_{зб}$  – втрати поживних речовин при збереженні (для азоту загального – 0,15–0,30, фосфору – 0,05–0,15, калію – 0,05–0,10). Більші значення приймають для південних, менші – для північних районів України. Якщо вміст поживних речовин визначається в стоках із ставка-накопичувача, то  $k_{зб} = 0$ ;

$k_{вн}$  – втрати поживних речовин при внесенні стоків (для азоту при дощуванні – 0,15, при поверхневому поливі – 0,06, фосфор і калій втрат не мають).

Чистими тваринницькими екскрементами поливати не рекомендується, оскільки в них великий вміст поживних речовин і це може призвести до перенасичення ґрунту, крім того в тваринницьких екскрементах велика кількість нерозчинених частинок. Тому необхідно тваринницькі стоки підготувати, тобто розбавити чистою водою. Тоді вміст поживних речовин в приготовлених тваринницьких стоках становитиме

$$Z = \frac{P_i}{K}, \quad (4.7)$$

де  $P_i$  – вміст поживних речовин в екскрементах тварин (табл. 4.12), %;

$K$  – кратність розбавлення тваринницьких екскрементів. Для даного прикладу  $K=20$ , тобто на 1 м<sup>3</sup> екскрементів потрібно 20 м<sup>3</sup> чистої води.

Річна зрошувальна норма стічних вод для розглянутого прикладу складає:

- для азоту  $k_{зб} = 0,20$ ;  $k_{вн} = 0,15$ ;  $k_{гм} = 1 + 0,20 + 0,15 = 1,35$ ;  $Z = \frac{0,51}{20} = 0,0255$  %,

$$M_N = \frac{306 \cdot 1,2 \cdot 1,35}{10 \cdot 0,7 \cdot 0,0255} = 2777 \text{ м}^3/\text{га};$$

- для фосфору  $k_{зб} = 0,05$ ;  $k_{вн} = 0$ ;  $k_{гм} = 1 + 0,05 = 1,05$ ;  $Z = \frac{0,22}{20} = 0,011$  %,

$$M_P = \frac{90 \cdot 1,2 \cdot 1,05}{10 \cdot 0,6 \cdot 0,011} = 1719 \text{ м}^3/\text{га};$$

- для калію  $k_{зб} = 0,05$ ;  $k_{вн} = 0$ ;  $k_{вм} = 1 + 0,05 = 1,05$ ;  $Z = \frac{0,46}{10} = 0,023$  %,

$$M_K = \frac{360 \cdot 1,2 \cdot 1,05}{10 \cdot 0,6 \cdot 0,023} = 3287 \text{ м}^3/\text{га}.$$

Величина зрошувальної норми для кукурудзи на силос, що розрахована по дефіциту водоспоживання, складає  $M = 2200 \text{ м}^3/\text{га}$ . При аналізі одержаних зрошувальних норм бачимо по окремих поживних речовинах, що  $M_P < M$ . Це означає, що компенсація, винесеного врожаєм кукурудзи фосфору, відбувається повністю і навіть буде накопичення цього елемента в ґрунті. Тоді як по азоту і калію повної компенсації не спостерігається, оскільки  $M_N$  і  $M_K > M$ .

При поливах тваринницькими стоками збільшувати внесення поживних речовин також небажано, тому що можливе надмірне накопичення цих речовин у врожаю, через що і погіршиться його якість, тому для даного випадку розрахункова зрошувальна норма повинна складатися з тваринницьких стоків і чистої води, відповідно  $1719$  і  $481 \text{ м}^3/\text{га}$ . Округливши до нормативних значень, маємо –  $1720 \text{ м}^3/\text{га}$  тваринницьких стоків і  $480 \text{ м}^3/\text{га}$  чистої води.

**3. Потрібну площу землеробських полів зрошення розраховують виходячи із об'єму стічних вод.** Загальний об'єм стічних вод можна розрахувати за формулою

$$W_P = \frac{M_c \cdot N_z \cdot K \cdot 365}{\gamma}, \quad (4.8)$$

де  $M_c$  – добовий вихід екскрементів від однієї тварини, кг/добу;

$N_z$  – поголів'я тварин, голів;

$\gamma$  – щільність стічних вод ( $1010 \text{ кг}/\text{м}^3$ );

$K$  – кратність розбавлення стічних вод.

$$\text{Для розглянутого випадку } W_P = \frac{5 \cdot 2000 \cdot 20 \cdot 365}{1010} = 72,3 \text{ тис. м}^3.$$

Площу, яка необхідна для повного використання стоків для зрошення, визначають за формулою

$$F_{зпз} = \frac{W_P}{M_{сер.зв}}, \quad (4.9)$$

де  $M_{сер.зв}$  – середньозважена зрошувальна норма,  $\text{м}^3/\text{га}$ .

$$\text{Якщо розрахунки виконувати для кукурудзи на силос, то } F_{зпз} = \frac{72300}{1720} = 42,0 \text{ га}.$$

### Запитання для самоконтролю

1. Що називають стічними водами?
2. Які органічні і мінеральні забруднення є у стічних водах?
3. Які стічні води називають освітленими, а які неосвітленими?
4. Яку удобрювальну цінність мають стічні води?
5. На які види поділяють стічні води залежно від їх походження? Охарактеризуйте їх.
6. Як за складом домішок поділяють господарсько-побутові стічні води?
7. На які групи за технологічними ознаками поділяють промислові стічні води?
8. Яка особливість формування і складу тваринницьких стічних вод?
9. Що таке землеробські поля зрошення?
10. Які завдання вирішують землеробські поля зрошення?
11. Які розрізняють землеробські поля зрошення за способом прийняття і використання стічних вод?
12. Які особливості необхідно враховувати при призначенні режиму зрошення на землеробських полях зрошення?

13. *Як розраховують річну зрошувальну норму на землеробських полях зрошення залежно від вмісту у стічних водах поживних речовин?*
14. *Як класифікують стічні зрошувальні води залежно від вмісту в них важких металів та інших токсичних елементів?*
15. *Які агрономічні показники осадів стічних вод?*
16. *Як розраховують дозу внесення осаду стічних вод до ґрунту?*
17. *Які санітарно-гігієнічні показники осадів стічних вод?*
18. *Як розраховують допустиму дозу внесення осадів у ґрунт залежно від вмісту в них важких металів?*
19. *Який вплив стічних вод на родючість ґрунту?*
20. *Які вимоги висувуються щодо охорони довкілля?*
21. *Яка ефективність зрошення стічними водами?*
22. *Яким чином ведеться розрахунок екскрементів і поживних елементів від тваринницької ферми?*
23. *Як розраховують потрібну площу у землеробських полів зрошення для конкретної тваринницької ферми?*



## ВИСНОВОК

Через глобальне потепління клімату на нашій планеті площа сільськогосподарських угідь, що потребує зрошення, постійно зростає і сягає зараз майже 300 млн га, що становить 18 % загальної площі ріллі, на яких виробляють 40 % обсягу сільськогосподарської продукції, тобто продуктивність одного зрошувального гектара більше ніж удвічі перевищує продуктивність неполивного.

Забезпеченість продовольством і ресурсне забезпечення України також значною мірою залежить від наявності, технічного стану та ефективного використання зрошуваних земель. Зрошуване землеробство залишається вагомим водоспоживачем у сільському господарстві України (до 40 %). Однак через виснаження, забруднення поверхневих і підземних вод виникає дефіцит води в цій галузі економіки, що зумовлює необхідність пошуку альтернативних водних джерел. До прісних вод, які безповоротно втрачаються, відносять дренажно-скидні води із зрошуваних територій, дощовий стік із урбанізованих територій, стічні, паводкові та шахтні води тощо.

Для ефективного і безпечного використання цих вод необхідно будувати або використовувати існуючі акумулюючі ємності (ставки, канали, регулюючі басейни, резервуари тощо) проводити оцінку якості води та поліпшувати її іригаційні показники.

Забезпеченість України водними ресурсами є однією з найнижчих у Європі. Ресурси річкових вод України в середній за водністю рік оцінено у 52,4 км<sup>3</sup>. З урахуванням притоку із суміжних держав середній багаторічний річковий стік сягає 87,1 км<sup>3</sup>. При врахуванні стоку Дунаю Кілійським гирлом загальні водні ресурси збільшуються до 209,8 км<sup>3</sup>.

Більше половини річкових вод зосереджено на територіях, де водоспоживання не перевищує 5 % загальнодержавного. У східних та південних регіонах водозабезпеченість недостатня і здійснюється за рахунок урегульованості стоку та перекидання стоку з р. Дніпро.

У каскаді дніпровських водосховищ зарегульовані 43,8 км<sup>3</sup> води, або майже 80 % стоку території держави. Загальна зарегульованість стоку держави в понад 1000 водосховищах – 55 км<sup>3</sup> води.

Прогнозні ресурси підземних вод України оцінюють у 22,5 км<sup>3</sup>/рік, а експлуатаційні запаси цих вод становлять 5,7 км<sup>3</sup>/рік.

Стічні води сільського господарства, скинуті у природні водні джерела, в останні 15 років становили від 6,33 км<sup>3</sup> у 1991 р. до 2,66 км<sup>3</sup> у 1999 р. У затоки Чорного й Азовського морів щорічно скидається до 0,8 км<sup>3</sup> дренажно-скидних вод із зрошувальних систем, які частково можна використати для зрошення. Площа зрошуваних земель в Україні в 1990 р. складала 2465,9 тис. га. Із них у 1998 р. поливалися всього 1801 тис. га. Нині зрошується не більше 600 тис. га.

За останні 15 років на зрошення одного га площі земель у державі витрачалося води від 3390 м<sup>3</sup>/га у 1990 р. до 1203 м<sup>3</sup>/га у 1998 р., а загальні витрати води на зрошення при цьому становили 7,76–2,17 км<sup>3</sup> за вегетацію.

На 70–73 % площі зрошуваних земель використовують поливні води з мінералізацією менше 1 г/дм<sup>3</sup>, на 18–20 % площі зрошуваних земель застосовують воду з мінералізацією 1–2 г/дм<sup>3</sup>, а на площі 7–9 % – більше 2 г/дм<sup>3</sup>.

Дані наведені в науковій літературі свідчать, що загальна мінералізація води джерел зрошення змінюється в досить широких межах – від 0,3–0,5 до 3,5 г/дм<sup>3</sup> і більше. Значна мінливість загальної мінералізації води джерел зрошення обумовлена різним хімічним складом: від гідрокарбонатного кальцієвого (річки Дніпро, Дунай, Дністер, Південний Буг) до хлоридного натрієвого (р. Інгулець, оз. Сасик), сульфатно-натрієвого (р. Інгул, озера Кагул, Катлабуг, Китай, Ялпуг), гідрокарбонатного магнієвого, гідрокарбонатного натрієвого та інших типів у дренажно-скидних водах.

Оцінка якості зрошувальної води залишається актуальною проблемою меліоративної науки як в Україні, так і за її межами, тому що склад води є визначальним фактором ефективного, екологічно безпечного використання зрошуваних земель, особливо щодо збереження і відтворення родючості ґрунтів.

За умови використання непідготовленої води виникають негативні процеси, зокрема дегуміфікація, засолення, осолонцювання, знеструктурування, ущільнення, злитизація, кіркоутворення та забруднення ґрунтів. Зараз немає єдиного методу оцінки придатності природних вод для зрошення, тому в навчальному посібнику наведена іригаційна оцінка за різними методиками. В основному автори аналізували державні стандарти щодо якості води для зрошення в Україні.

Якщо раніше якість води для проведення поливів визначали з урахуванням властивостей ґрунтів, їхнього мінералогічного складу і величини ємності катіонного обміну, то сучасний підхід до оцінювання якості зрошувальної води враховує солестійкість рослин, склад води та ґрунтів, агрономічні, екологічні, санітарні й гідротехнічні показники.

Отже, якість поливної води може суттєво впливати на показники родючості зрошуваних ґрунтів, продуктивність сільськогосподарських культур і якість продукції рослинництва, екологічний стан агроценозів у цілому.

# СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Балюк С., Воротинцева Л., Дрозд О. (2013) Якість поливної води та її приховані ризики. Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського» / ©Пропозиція: Головний журнал з питань агробізнесу <https://propozitsiya.com/ua/yakist-polivnoyi-vodi-ta-yiyi-prihovani-riziki>
2. Балюк С., Ладних В. До питання оцінки якості природної води для зрошення / *Водне господарство*. – № 1–2 2000. С.53–55.
3. Балюк С.А., Носенко О.А. (2008). Класифікація зрошуваних ґрунтів України за ступенем засолення, солонцюватості та лужності. *Ґрунтознавство*. Т. 9. № 3-4. С. 27-32.
4. Балюк С.А., Ромащенко М.І. Трускавецький Р.С. (2015). Меліорація ґрунтів (систематика, перспективи, інновації): *колективна монографія*. Херсон: Грінь Д.С. 668 с.
5. Буданов М.Ф. (1970). Система и состав контроля за качеством природных и сточных вод при использовании их для орошения / под ред. Т.Н. Хрусовой. Київ: Урожай. 48 с.
6. ВБН 33-5.5-01-97 (2002). Організація і ведення еколого-меліоративного моніторингу. Ч. 1. Зрошувані землі. Київ: Держводгосп України. 64 с.
7. ВНД 33-5.5-02-97. (1998). Якість води для зрошення. Екологічні критерії. Харків: Державний комітет України по водному господарству. 13 с.
8. Використання стічних вод у сільському господарстві. Новини аграрного сектору / **За матеріалами ФАО** <https://uhbdp.org/ua/news/agro-news/1166-vikoristannya-stichnikh-vod-u-silskomu-gospodarstvi>
9. ВНД 33-3.3-01-98 (1998). Переработка городских сточных вод и использование их для орошения кормовых и технических культур. Київ: Державний комітет України по водному господарству <https://dnaop.com/html/45287/doc-vnd-33-33-01-98-pererabotka-gorodskih-stochnyh-vod-i-ispolzovaniye-ih-dlya-orosheniya-kormovyh-i-tehnicheskikh-kulturn>
10. ВНД 33-5.5-11-02 (2002). Інструкція з проведення ґрунтово-сольової зйомки на зрошувальних землях України. Київ: Держводгосп України. 67 с.
11. Войцехович О.В., Лаптев Г.В., Канівець В.В. (1996). Радіаційне забруднення водних об'єктів зони відчуження ЧАЕС. Бюлетень екологічного стану зони відчуження. Київ: Чорнобиль-Інтерінформ. Вип. 1 (6). С. 37–44.
12. Гасанов С.Т., Искендеров М.Я. (2016). Влияние орошения коллекторно-дренажной водой на солевой режим почвы и продуктивность сельскохозяйственных культур в хлопковом севообороте. *Агрехимия*, № 6. С. 59–66
13. Гончарук Є.Г., Кундієв Ю.І., Бардов В.Г. та ін. (1995). Загальна гігієна. Пропедевтика гігієни. Київ: Вища школа. 530 с.
14. ГОСТ 8.010–99. Государственная система обеспечения единства измерений. Методики выполнения измерений. Основные положения. Киев: Госстандарт Украины. 26 с.
15. Гродзинский Д.М. (1992) Гидроэкологические последствия аварии на Чернобыльской АЭС. Київ: Наук. думка. 267 с.
16. Дегазована вода або «хородний окріп» <http://jak.magey.com.ua/articles/degazovana-voda-abo-holodnij-okrip.html>
17. Дишлюк В.Є. (1998). Перспективи використання стічних вод міських очисних споруд у землеробстві України (Повідомлення II). *Меліорація і водне господарство*. № 85. С. 57–66.

18. ДСТУ 3041-95. Гідросфера. Використання і охорона води. Терміни та визначення. Київ: Держстандарт України [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=74302](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=74302)
19. ДСТУ 3928-99. Охорона природи. Гідросфера. Токсикологія води. Терміни та визначення. Київ: Держстандарт України. 23 с.
20. ДСТУ 7369:2013. Стічні води. Вимоги до стічних вод і їхніх осадів для зрошування та удобрювання. Київ: Мінекономрозвитку України. 7 с.
21. ДСТУ 7594:2014. Мікрозрошення. Краплинне зрошення плодових культур. Загальні та методи контролювання. Київ: ІВПіМ НААН.
22. ДСТУ ISO 5667-18:2007 (ISO 5667-18:2001, IDT). (2011). Якість води. Відбирання проб. Частина 18. Настанови щодо відбирання проб підземних вод із забруднених місць. К.: Держстандарт України. 22 с.
23. Іванов Є.А. (2004). Радіоекологічне дослідження: навчальний посібник. – Львів: Видавничий центр ЛНУ ім. І.Франка. 149 с.
24. ISO 6107-1:2004 (ISO 6107-1:1996, IDT). (2006). Якість води. Словник термінів. Частина 1 ДСТУ К.: Держстандарт України. 23 с.
25. Качинський Н.А. (1970). Фізика ґрунту. Ч. II. Водно-фізичні властивості та режими ґрунту. М.: Из-во Высшая школа. 358 с.
26. Лозовіцький П.С. (1999). Оцінка якості природних вод України при використанні для зрошення / *Водне господарство України* № 3–4 1999. С. 6–9.
27. Лозовіцький П.С. (2014). Меліорація ґрунтів та оптимізація ґрунтових процесів: *Підручник для вищих навчальних закладів*. Київ: 530 с
28. Лось І.П., Войцехович О.В., Шепелевич К.І. (2001). Радіація і вода: Опыт обеспечения радиологической защиты в управлении качеством воды после аварии на Чернобыльской АЭС: Монографія. Київ: Науч. центр радиационной медицины АМН, УкрНИГИ. 104 с.
29. Лукашев Д.В. (2002). Гидробиологический режим водоема-охладителя после снятия с эксплуатации Чернобыльской АЭС // Екологічні дослідження річкових басейнів Лівобережної України: Збірник наукових праць. Суми: СумДПУ ім. А.С.Макаренка. С. 88–94.
30. Марков Ю.К. Температура і якість поливної води. Зрошення садів. *Присадибне господарство. Бібліотека садівника* <http://bibliograph.com.ua/poliv/5.htm>
31. Новикова А. В., Гаврилович Н. Е. (2007). Содопроявление и ошелачивание в богарных и орошаемых почвах юга Украины. Херсон: КП Друкарня № 13. 80 с.
32. Огородніков А.В. (2002) Притік радіонуклідів із річковими водами, питання балансу радіонуклідів та радіоактивне забруднення донних відкладів Київського водосховища. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*: Наук. збірник. Київ–Луцьк: РВВ Луцького ДТУ. Т. 4. С. 145–151.
33. Поливная вода с высоким содержанием железа и марганца засоряет капельницы / Юг Полив управляет водой. 24.05.2016. [http://www.yug-poliv.ru/article/obzor\\_pressy/polivnaya\\_voda\\_s\\_vysokim\\_soderzhaniem\\_zheleza\\_i\\_magniya\\_zasoryaet\\_kapelnitsy/](http://www.yug-poliv.ru/article/obzor_pressy/polivnaya_voda_s_vysokim_soderzhaniem_zheleza_i_magniya_zasoryaet_kapelnitsy/)
34. Полив культур структурированной водой как средство увеличения урожая <https://agroservers.ru/articles/938.htm>
35. Потенціометричні методи визначення активності іонів водню, натрію та кальцію в зрошуваних водах та ґрунтах. *Методичні рекомендації*. Київ. 1997. 25 с.
36. Посібник до ВБН 46/33-2.5-5-96 «Сільськогосподарське водопостачання. Зовнішні мережі і споруди. Норми проектування» (електронний ресурс) <https://dnaop.com/html/45246/doc->

[posibnikdo-vbn-4633-25-5-96-silysykgospodarsyke-vodopostachannya-zovnishni-merezhi-i-sporudi-normiprojektuvannya](http://posibnikdo-vbn-4633-25-5-96-silysykgospodarsyke-vodopostachannya-zovnishni-merezhi-i-sporudi-normiprojektuvannya)

37. Радіоактивне забруднення водних екосистем / Загальна екологія (Online курс лекцій) – <http://ecologyknu.wixsite.com/ecologymanual/kopiya-13-8>
38. Ромась М.І., Пелешенко В.І., Сілевич С.О. (2002). Вплив атомних електростанцій на якість поверхневих вод . *Гідрологія, гідрохімія і гідро екологія*. Наук. збірник. Київ - Луцьк: РВВ Луцького ДТУ. Т. 4. С. 155-158.
39. Ромащенко М. І., Балюк С. А. (2000). Зрошення земель в Україні. Стан та шляхи поліпшення. Київ: Світ. 114 с.
40. Ромась М.І. (2002). Оцінка впливу АЕС на водні ресурси. *Гідрометеорологія і охорона навколишнього середовища*: Тези доповідей. Одеса. С. 272–273.
41. Рекомендации по безопасному использованию коллекторно-дренажных вод на орошении / Проект «Интегрированное управление водными ресурсами в Ферганской долине (ИУВР-Фергана)». Ташкент, 2007. 24 с. (электронный ресурс) [http://www.cawater-info.net/library/rus/iwrm/recommendations\\_cdw.pdf](http://www.cawater-info.net/library/rus/iwrm/recommendations_cdw.pdf)
42. Сельськогосподарський енциклопедический словарь [agricultural\\_dictionary.academic.ru](http://agricultural_dictionary.academic.ru)
43. СОУ 41.00-37-688:2007. Води стічні та їх осади в тваринництві та птахівництві. Компости на їх основі. Київ: Стандарт Мінагрополітики України. 20 с.
44. Сташук В.А., Балюк С.А., Ромащенко М.І. (2009). Наукові основи охорони та раціонального використання зрошуваних земель України. Київ: Аграрна наука. 624 с.
45. Якість природної води для зрошення. Агрономічні критерії. ДСТУ 2730:2015 [Чинний від 2016-07-01]. Київ. ДП «УкрНДНЦ». 2016. 12 с.
46. Якість води для зрошування. Екологічні критерії: ДСТУ 7286:2012. [Чинний від 2013-07-01]. К.: Мінекономрозвитку України, 2013. 14 с.
47. Яцик А.В., Хорєв В.М. (2000) Водне господарство в Україні. Київ: Генеза. 456 с.
48. Яцик А.В., Грищенко Ю.М., Волкова Л.А., Пашенюк І.А. (2007) Водні ресурси: використання, охорона, відтворення, управління. Підручник. Київ: Генеза. 360 с.