

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет водогосподарської інженерії та екології

Кафедра цивільної інженерії, технологій будівництва і захисту довкілля

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

завідувач кафедри цивільної інженерії,
технологій будівництва і захисту довкілля

ВОЛКОВА Вікторія Євгенівна

«_____» _____ 2026 р.

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

на тему: «Оцінка придатності та обґрунтування технологій використання
поверхневих вод басейну річок Приазов'я для потреб зрошуваного землеробства в
умовах зміни клімату»

Виконав: здобувача вищої освіти
групи ТЗНС-1-22
на здобуття освітнього ступеня бакалавр
спеціальності – 183 «Технології
захисту навколишнього середовища»
освітньої програми – «Технології захисту
навколишнього середовища»

Шпака Н. Ю.

(підпис, прізвище та ініціали)

Керівник Макарова Т.К.

Рецензент _____

Дніпро - 2026

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота «Оцінка придатності та обґрунтування технологій використання поверхневих вод басейну річок Приазов'я для потреб зрошуваного землеробства в умовах зміни клімату» складається із вступу, 4 розділів, висновків, додатків та переліку посилань. Повний обсяг роботи – 101 сторінка друкованого тексту, включаючи 7 рисунків та 21 таблицю. Перелік посилань містить 54 найменувань.

Об'єктом дослідження є поверхневі води басейну річок Приазов'я.

Предметом дослідження є характерні якісні показники вод та технологічний підхід по підготовці їх у використанні зрошувального землеробства в умовах зміни клімату.

Метою кваліфікаційної роботи – оцінка придатності поверхневих вод басейну річок Приазов'я для використання їх у зрошувальному землеробстві при вирощуванні сільськогосподарських культур та обґрунтування сучасних технологій по використанню їх в умовах зміни клімату.

Методи дослідження: спостереження та моніторинг якості вод басейну річок Приазов'я, гідрохімічний аналіз по оцінці водних ресурсів за допомогою системних підходів та стандартних методів, статистика та порівняння, розрахункові методи по придатності досліджуваної води з відбору проб для зрошення.

Результати експериментальних досліджень кваліфікаційної роботи бакалавра можуть бути використані у змісті навчальних дисциплін за спеціальністю 183 Технології захисту навколишнього середовища:

- 1) Моніторинг довкілля;
- 2) Техноекологія;
- 3) Технології захисту навколишнього середовища;
- 4) Меліоративне землеробство;
- 5) Водна інженерія та водні технології;
- 6) Екологія агроландшафтів;

7) Моніторинг та охорона ґрунтів.

Актуальність дослідження кваліфікаційної бакалаврської роботи є необхідної для проблем сучасного стану оцінки з придатності водних ресурсів, які функціонують і відносяться до річок Приазов'я та для використання їх у зрошувальному землеробстві і необхідність згідно технологій їх адаптації по підготовці та використання при змінах клімату. Існування спеціального управління, а саме це Басейнове управління водних ресурсів річок Приазов'я, яке займається постійним проведенням контролю за якістю показників та моніторингом поверхневих вод та по регулюванню водокористуванні, але потреба необхідна у рекомендаціях по використанні вод у меліорації при різних змінах клімату. Погіршення екологічної ситуації може набути більшого і складного стану, через те, що водні ресурси і ґрунти не адаптовані під сучасні технологічні зрошення, адже є не досить придатними і є ймовірність втратити достатню частину земель, які можна було використовувати під зрошення.

Ключові слова: поверхневі води, басейн річок Приазов'я, зрошення, мінералізація, вторинне засолення, зворотній осмос, водопідготовка, крапельне зрошення, зміна клімату.

Дніпровський державний аграрно-економічний університет
Факультет водогосподарської інженерії та екології
Кафедра цивільної інженерії, технологій будівництва і захисту довкілля
Освітній ступінь «Бакалавр»
Спеціальність – 183 «Технології захисту навколишнього середовища»
Освітня програма «Технології захисту навколишнього середовища»

ЗАТВЕРДЖУЮ :

Зав. кафедрою цивільної інженерії,
технологій будівництва і захисту
довкілля

Волкова Вікторія Євгенівна

«_____» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу здобувача вищої освіти

Шпака Нікити Юрійовича

Тема роботи: «Оцінка придатності та обґрунтування технологій використання поверхневих вод басейну річок Приазов'я для потреб зрошуваного землеробства в умовах зміни клімату».

Керівник роботи: Макарова Тетяна Костянтинівна, кандидатка сільськогосподарських наук, доцентка, затверджена наказом по університету від «12» березня 2026 р. №515

1. Термін здачі здобувачем закінченої роботи: «_____» _____ 2026 р.
2. Вихідні дані до роботи: дані гідрохімічного моніторингу БУВР річок Приазов'я; нормативні документи ДСТУ 2730: 2015, ДСТУ ISO 5667 – 3: 2001; рекомендації FAO щодо якості поливної води; матеріали виробничої практики.
 - 2.1. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: загальні відомості про об'єкт дослідження – басейн річок Приазов'я, природно-кліматичні умови;

методика та результати оцінки якості та придатності поверхневих вод для зрошення; обґрунтування технологій підготовки та використання поверхневих вод для зрошення; еколого-економічна ефективність запропонованих технологій.

3. Перелік графічного матеріалу: карта басейну річок Приазов'я, схема технологічної водопідготовки; технологічна схема крапельного зрошення; графіки гідрохімічних показників.

4. Консультанти розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
5			
6			
7			

5. Дата видачі завдання: « ____ » _____ 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ пп	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Визначення теми та отримання завдання	Лютий	Виконано
2	Збір вихідних даних та огляд літератури	Лютий	Виконано
3	Виконання розділу 1	Березень	Виконано
4	Виконання розділу 2	Березень	Виконано
5	Виконання розділу 3	Квітень	Виконано
6	Виконання розділу 4	Квітень	Виконано
7	Формулювання висновків	Травень	Виконано
8	Оформлення роботи, одержання відгуку та рецензії	Червень	Виконано
9	Подання роботи на кафедру	Червень	Виконано

Здобувач вищої освіти _____

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____

(підпис)

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ВИКОРИСТАННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД ДЛЯ ЗРОШЕННЯ В УМОВАХ ЗМІНИ КЛІМАТУ	10
1.1 Водні ресурси басейну річок Приазов'я	10
1.2 Природно-кліматичні умови регіону та їх вплив на водний баланс	13
1.3 Якість поливної води за еколого-меліоративними вимогами при впливі сучасних регіональних змін клімату	17
1.4 Використання поверхневих вод у зрошувальному землеробстві за аналізом зарубіжного досвіду	24
1.5 Моніторинг та управління БУВР річок Приазов'я у водокористуванні.	27
2 ОЦІНКА ЯКОСТІ ТА ПРИДАТНОСТІ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД ДЛЯ ЗРОШЕННЯ	33
2.1 Методика оцінки якості поверхневих вод для зрошення	33
2.2 Моніторинговий аналіз гідрохімічного стану річок Приазов'я	35
2.3 Ризики при використанні води для зрошення.....	40
2.3.1 Розрахунок ризику засолення ґрунтів.....	41
2.3.2 Оцінка ризику солонцювання ґрунтів за показником натрієвої адсорбції SAR.....	43
2.3.3 Оцінка ризику за залишковим карбонатом натрію RSC.....	45
2.3.4 Оцінка ризику для здоров'я людини при використанні забрудненої води	49
2.3.5 Комплексна оцінка ризиків для навколишнього середовища.....	51
2.4 Якість та оцінка придатності вод басейну для сільськогосподарських культур	53
2.5 Екологічні ризики та наслідки при використанні вод різної якості	56
3 ОБГРУНТОВАНЕ ВИКОРИСТАННЯ ТА ПІДГОТОВКА ПОВЕРХНЕВИХ ВОД ДО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПОЛИВУ ДЛЯ ЗРОШУВАЛЬНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА	61
3.1 Сучасні технології зрошення в умовах регіону Приазов'я.....	61
3.2 Використання сучасних технологій для покращення якості поливної води .	64
3.3 Інженерно-технологічні рішення для безпечного та оптимального використання поверхневих вод	69

4 ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РАЦІОНАЛЬНОГО ВОДОКОРИСТУВАННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД.....	76
4.1 Вплив технологій на стан ґрунтового покриву та екосистеми водного регіону	76
4.2 Економічна оцінка доцільності впроваджених технологій	78
4.3 Заходи з охорони водних ресурсів та адаптації до зрошувального землеробства при зміні клімату	89
4.4 Рекомендації по розвитку систем моніторингу, інтегруванню та відновленню поверхневих вод басейну річок	92
ВИСНОВКИ.....	95
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	100
Додаток А.....	107
Додаток Б	108

ВСТУП

Сучасні кліматичні зміни впливають на водні ресурси які знаходяться на півдні України. Особливо це можливо спостерігати в басейні річок Приазов'я, тобто у південно-східній частині, де відбуваються різні екологічні зміни водних об'єктів. До основних змін необхідно віднести зниження річкового стоку та характерне обмеження використання водними ресурсами через підвищену мінералізацію. Це сталося через підлив Каховського водосховища у 2023 році та зміни клімату. Підвищення температури призводить до випаровування та зменшення доступних поверхневих вод за обсягом. Якість водних ресурсів погіршується з роками через воєнні дії, зміну клімату, забруднення водних об'єктів, відсутності модернізації та удосконалення очисного обладнання стічних вод відповідно до спеціальних вимог, стандартів та технічних умов.

Сьогодні необхідність вирішення питання раціонального використання водних ресурсів - є досить важливим, оскільки це пов'язано з великим обсягом водоспоживання, глобальними змінами кліматичних показників, поганою якістю поверхневих вод через антропогенне навантаження, що характерно як для світу так і для України.

Сучасні виклики чинять значний негативний вплив на водний баланс територій та водночас підвищують потребу сектору сільського господарства у водних ресурсах. Особливо гостро це питання постає для зрошувального землеробства, де дефіцит якісної та доступної води призводить до зниження врожайності й дестабілізації агровиробництва.

Поверхневі води є основним джерелом для іригації, тому забезпечення їхньої відповідності нормативним вимогам є критично важливим завданням. Для цього необхідно впроваджувати заходи з регулярної та ретельної оцінки якості водних ресурсів.

Відсутність дієвого контролю та належних заходів охорони вод може призвести до катастрофічних наслідків: деградації та засолення ґрунтів;

руйнування загальної структури агроландшафту; суттєвого погіршення стану навколишнього природного середовища.

Оскільки поверхневі джерела використовуються для потреб населення значно частіше, ніж підземні, забезпечення громадян якісною водою є однією з ключових екологічних та соціальних проблем в Україні.

Водні ресурси, що спрямовуються на питне водоспоживання, повинні суворо відповідати стандартам безпеки: мати належні органолептичні властивості (смак, запах, колір, прозорість); бути екологічно безпечними, що передбачає повну відсутність небезпечних хімічних і фізичних домішок, а також радіонуклідів, які є прямими забруднювачами та становлять загрозу для здоров'я людини.

В Україні близько 30% водогонів та спеціально облаштованих систем знаходяться у зношеному стані та потребують заміни на сучасні або ж модернізації, через їх аварійний стан можливий негативний вплив на водні об'єкти.

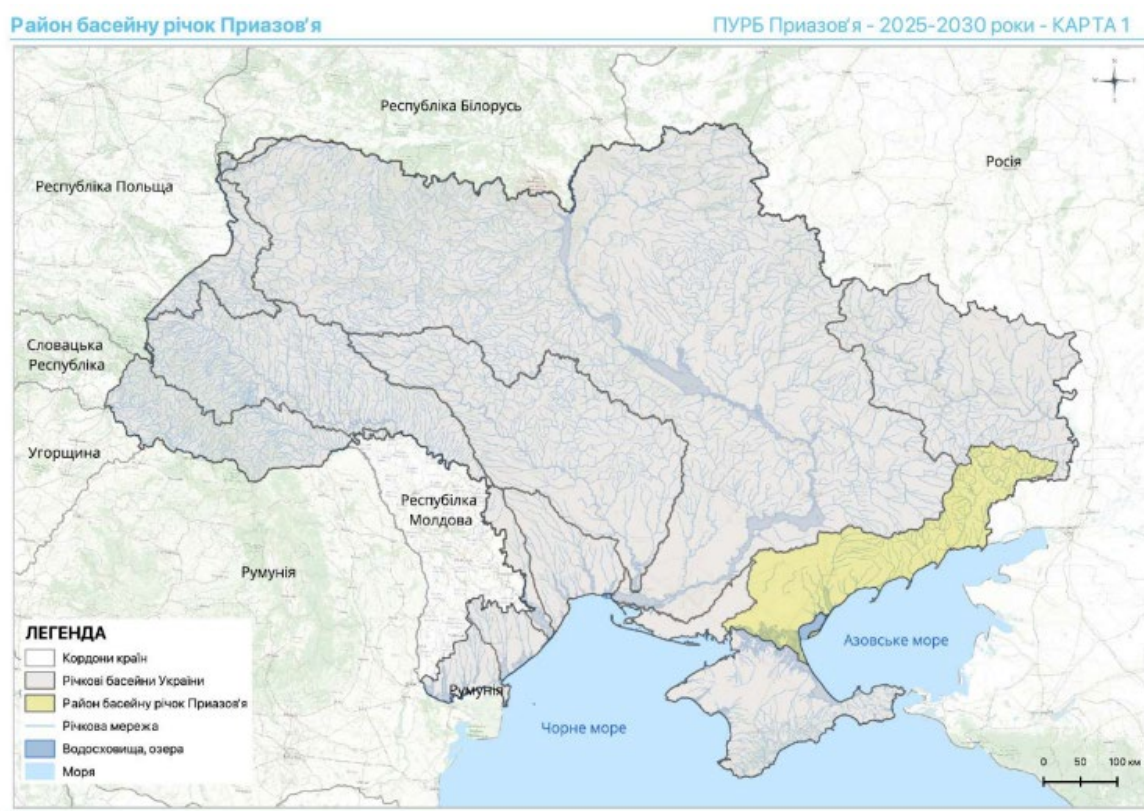
Завдання кваліфікаційної роботи є:

- 1) проаналізувати гідрологічний та гідрохімічний стан річок Приазов'я;
- 2) вивчити вплив змін клімату на водний баланс та якість поверхневих вод;
- 3) визначення придатності ступеня якості води для зрошення;
- 4) проведення оцінки якості води за даними моніторингу БУВР;
- 5) обґрунтування технологічних заходів для підготовки поливної води;
- 6) оцінка еколого-економічної ефективності запропонованих технологій⁴
- 7) розробка спеціальні рекомендації та заходів для поверхневих води при використанні для крапельного зрошення та захист ґрунтів від вторинного засолення.

1 ВИКОРИСТАННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД ДЛЯ ЗРОШЕННЯ В УМОВАХ ЗМІНИ КЛІМАТУ

1.1 Водні ресурси басейну річок Приазов'я

Басейн річок Приазов'я який знаходиться у південному регіоні України є одним із основних водогосподарських регіонів, де надходження води здійснюється для Запорізької, Херсонської, Донецької та Луганської областей. Територія Басейну річок Приазов'я складає приблизно 37,9 тис. км². Загальна кількість річок які входять до басейну Приазов'я налічується більш ніж 150 од. з яких основними за найбільшим впливом і за своєю площею є р.Молочна, р.Берда, р.Обитічна, р.Кальміус, р.Міус та р.Грузинський Єланчик. Ці та інші невеликі річки впадають до Азовського моря, мають свої притоки та впливають на басейн річок Приазов'я (рис.1.1).



Малі річки, які мають незначну площу басейнів і рідше використовуються для моніторингу екологічних показників, насправді відіграють важливу роль у формуванні гідрологічного режиму великих водних артерій [18]. Сьогодні, як і раніше, гостро постають проблеми дефіциту водних ресурсів та недостатнього зволоження ґрунтів як поверхневими, так і підземними водами. Ця ситуація значно ускладнюється через кліматичні зміни, наслідки воєнних дій, а також високий попит на воду для потреб сільського господарства [14,19].

Для більшості річок країни характерна зміна у гідрологічному режимі відносно сезонності[18]. Для річок Приазов'я характерними є деякі показники зміни стоку. У зв'язку з цим управління БУВР річок Приазов'я запровадило певні заходи у весняний період :

1. Інформування та оповіщення населення. Розробка та щорічне оновлення членами робочої групи спеціальних схем оповіщення громадян про загрозу та можливі негативні наслідки під час повеней і паводків у потенційно небезпечних населених пунктах.

2. Гідротехнічний моніторинг інфраструктури. Залучення фахівців БУВР (Басейнового управління водних ресурсів) річок Приазов'я до обстеження критичних ділянок водних об'єктів на підконтрольній Україні території Запорізької області. Особливу увагу приділено місцям перетину з автомобільними дорогами та спорудам гідротехнічного захисту.

3. Взаємодія з гідрометеорологічними службами. Передача результатів обстежень до Запорізького обласного центру з гідрометеорології. Це забезпечує постійний оперативний зв'язок та швидке реагування у разі прогнозування значних опадів чи коливань рівня води в локальних районах, а також дозволяє узагальнювати й ефективно вирішувати проблеми під час сезонних паводків.

4. Регулювання та спостереження у період водопілля. Проведення моніторингу та регулювання водного режиму на досліджуваних ділянках усіх типів водних ресурсів (малих і великих річок, ставків, водосховищ). Ці заходи є

ключовими під час формування, проходження водопілля, а також у періоди льодоходу та паводків.

5. Встановлення режимів роботи штучних водойм. Запровадження чітко регламентованих і документально затверджених планів роботи для штучно створених водних об'єктів, зокрема тих, що передані в тимчасову оренду. Ці нормативні документи також застосовуються для суббасейну Нижнього Дніпра на підконтрольній території Запорізької області (відповідно до планів на 2025 - 2026 роки) [10,15].

Негативний вплив на водні ресурси спостерігається протягом усього року. Зокрема, влітку різко зростає попит на воду через масовий полив присадибних ділянок. Водночас унаслідок спеки виникає загроза висихання малих річок чи окремих русел, а також активізується процес евтрофікації (цвітіння води). Узимку ж через низькі температури й зміну гідрологічного режиму водні об'єкти практично не використовуються або стають тимчасово недоступними для експлуатації.

Характерною ознакою місцевих водойм є високий рівень мінералізації, що формує хімічний склад природного стоку [19]. На якість води суттєво впливає господарська діяльність, антропогенні фактори та кліматичні зміни. Зокрема, аграрний сектор через внесення добрив і хімікатів неоднозначно діє на стан поверхневих і підземних вод [22]. Ситуацію погіршує скидання неефективно очищених (або взагалі неочищених) стічних вод. Ще одним вагомим чинником є штучне зарегулювання річкових русел шляхом створення ставків та водосховищ [18].

За моніторинг і сучасний стан водних ресурсів у регіоні відповідає Басейнове управління водних ресурсів (БУВР) річок Приазов'я [10]. Установа веде облік водоспоживання, контролює якість води та забезпечує населення необхідними обсягами ресурсів у межах системи раціонального природокористування [15]. Проте зібрати вичерпну інформацію наразі неможливо через поточну ситуацію у регіоні через що дослідження обмежені. Фахівці використовують дані лише з об'єктів, розташованих на підконтрольній Україні території. Насамперед це

стосується верхніх ділянок річок, а також мережі ставків, водосховищ та інших штучних водойм, створених для господарських потреб.

1.2 Природно-кліматичні умови регіону та їх вплив на водний баланс

На стан водних ресурсів суттєво впливають глобальні кліматичні зміни, що зумовлюють динаміку розвитку як поверхневих водойм, так і підземних водоносних горизонтів [48,49]. Особливо гостро ці процеси проявляються на території Південно-Східної України, яка перебуває під наглядом басейнового управління. Цей регіон розташований у степовій зоні й характеризується високою чутливістю до систематичних кліматичних коливань [49]. Через це виникає гостра потреба в постійному моніторингу якості та обсягів води. За відсутності належного контролю та адаптаційних заходів існує високий ризик маловоддя в населених пунктах, а також нестабільності біологічних і хімічних показників місцевих водойм [50].

Кліматичні зміни мають чітко виражену сезонну специфіку, пов'язану із коливаннями температури повітря та нерівномірним розподілом атмосферних опадів протягом року (табл.1.1) [48]. У зимовий період через низькі температури замерзає більшість водних об'єктів. Водоспоживання в цей час природно знижується через відсутність масового попиту на воду. Навесні, із підвищенням температури та таненням снігу, об'єми води стрімко зростають. Це призводить до паводків, повеней, а подекуди й до затоплення прилеглих територій. Улітку температура повітря піднімається до критичних позначок, що спричиняє посухи та суттєве мікрообміління водойм[49].

Усі ці сезонні коливання та кліматичні чинники безпосередньо трансформують режим великих і малих річок регіону, що формують поверхневий стік. Найбільше від цих процесів потерпають такі річки, як Молочна, Берда, Обитічна, Кальміус, Міус та Грузький Єланчик[19,52].

Таблиця 1.1 – Температурні показники для річок Приазов'я у Запорізькій області у °C[15,49]

Рік Місяць	2021	2022	2023	2024	2025	Середньомісячна температура
Січень	-3,2	-2,8	-1,5	-1,2	-0,9	-1,9
Лютий	-2,5	-1,9	-0,8	-0,5	-0,3	-1,2
Березень	3,8	4,5	5,2	5,8	6,1	5,1
Квітень	10,5	11,2	12,0	12,8	13,4	12,0
Травень	16,8	17,5	18,3	19,1	19,8	18,3
Червень	21,5	22,3	23,1	24,0	24,6	23,1
Липень	24,8	25,5	26,2	27,0	27,6	26,3
Серпень	24,2	24,9	25,7	26,5	27,1	25,6
Вересень	18,5	19,2	20,0	20,8	21,3	19,9
Жовтень	11,2	12,0	12,8	13,5	14,1	12,7
Листопад	5,2	5,9	6,5	7,1	7,6	6,4
Грудень	-1,8	-1,2	-0,5	-0,2	0,1	-0,7
Середньорічна температура	10,8	11,4	12,3	12,9	13,4	12,2

Тривала спека та тривала відсутність опадів призводять до інтенсивного випаровування й критичного зменшення обсягів водних ресурсів (табл.1.2) [48]. Це зумовлює різке зниження рівня водності водойм, що найчастіше спостерігається в літній період.

На якість води суттєво впливають й інші чинники, серед яких ключовим є підвищення рівня мінералізації. Через антропогенне забруднення та неефективне очищення стічних вод у водоймах підвищується концентрація різноманітних розчинених біологічних і хімічних речовин, що на тлі загального маловоддя створює критичну ситуацію [22].

Сьогодні якість води в річках Приазов'я вже обмежує її використання навіть для потреб сільського господарства [15]. Для вирішення цієї екологічної проблеми необхідно повністю ліквідувати джерела забруднення або щонайменше знизити концентрацію шкідливих речовин до гранично допустимих умов (ГДК)[1].

Таблиця 1.2 – Кількість опадів для річок Приазов'я у Запорізькій області в мм[15,49]

Рік Місяць	2021	2022	2023	2024	2025	Середньоміс кіль-сть опадів	Загальна кіль-сть опадів за міс
Січень	32	28	25	22	20	25,4	127
Лютий	30	26	24	21	19	24	120
Березень	35	30	28	26	24	28,6	143
Квітень	38	35	32	30	28	32,6	163
Травень	45	42	40	38	35	40	200
Червень	55	50	48	45	42	48	240
Липень	48	45	42	40	38	42,6	213
Серпень	40	38	35	33	30	35,2	176
Вересень	32	30	28	26	24	28	140
Жовтень	28	26	24	22	20	24	120
Листопад	35	32	30	28	26	30,2	151
Грудень	38	35	32	30	28	32,6	163
Середньорічна кількість опадів	38	35	32	30	28	32,6	163
Загальна кількість опадів за рік	456	417	388	361	334	391,2	1956

Важливе значення має моніторинг змін гідрологічного режиму річок. Наразі фіксується зменшення весняного водопілля та зниження пікових витрат води, що є головним негативним чинником, який перешкоджає відновленню порушених екосистем. Окремі інтенсивні зливи викликають лише короточасні паводки. Вони не здатні компенсувати загальний дефіцит водних ресурсів чи забезпечити належне зволоження сільськогосподарських угідь, натомість посилюють ерозійні процеси в ґрунтах та водоймах і збільшують ризик деградації земель.

Додаткову небезпеку становить висока мінералізація води. Через надмірну концентрацію розчинених солей та незадовільні гідрохімічні показники її не можна використовувати для зрошувального землеробства. Полив такою водою загрожує виникненням вторинного засолення або солонцюватості місцевих чорноземів.

Басейнове управління водних ресурсів (БУВР) річок Приазов'я приділяє головну увагу моніторингу, прогнозуванню екологічного стану водойм на наступні роки та впровадженню необхідних захисних заходів [10,14]. Ці кроки є вирішальними для адаптації водогосподарського комплексу до сучасних кліматичних змін [50]. Окрім цього, наявні виклики вимагають активної модернізації та вдосконалення існуючих інженерних споруд і систем. Оскільки антропогенне та кліматичне навантаження на довкілля стрімко зростає, розвиток водної інфраструктури регіону має відбуватися відповідно до високих екологічних стандартів країн Європейського Союзу [22,50].

У БУВР річок Приазов'я офіційно розроблено та затверджено План управління річковим басейном (ПУРБ), розрахований на період з 2025 по 2030 роки [14]. Цей стратегічний документ чітко визначає ключові етапи та довгострокові механізми для впровадження комплексу невідкладних заходів. Головною метою програми є мінімізація деградації водного балансу регіону та запобігання подальшому виснаженню поверхневих і підземних джерел [14,15]. Необхідність ухвалення цього плану зумовлена низкою критичних викликів сьогодення, серед яких руйнівні наслідки воєнних дій, прогресуюче антропогенне забруднення та суттєві трансформації гідроморфологічних особливостей місцевих водойм [19,48]. Усі ці деструктивні чинники посилюються щорічними кліматичними змінами, які створюють додаткові ризики для водно-екологічної безпеки всього південно-східного регіону України.

Ігнорування закладених у ПУРБ екологічних та технічних програм може призвести до незворотних наслідків. Насамперед йдеться про критичну потребу в масштабній модернізації або повній заміні застарілих зрошувальних систем. Важливими напрямками також є впровадження принципів суворого раціонального водокористування відповідно до реальних потреб виробництва, а також будівництво спеціальних акумулюючих інженерних ємностей для накопичення та збереження запасів води. Реалізація цих водоохоронних та технологічних заходів дозволить суттєво покращити загальний гідрологічний баланс території. Це, у свою чергу, відкриє можливості для введення в експлуатацію нових сучасних ділянок

регулярного зрошення, забезпечить стабільне зволоження значних площ сільськогосподарських угідь і зумовить стрімке зростання загальної продуктивності місцевих агроландшафтів.

1.3 Якість поливної води за еколого-меліоративними вимогами при впливі сучасних регіональних змін клімату

Глобальні та регіональні зміни клімату, які спостерігаються на сучасному етапі в межах басейну річок Приазов'я, чинять деструктивний вплив на стан поверхневих водних об'єктів [48,49]. Цей вплив чітко проявляється у суттєвій трансформації як кількісних, так і якісних характеристик місцевих водних ресурсів. Головною причиною таких негативних тенденцій є стійке підвищення середньорічної температури повітря. Найбільш критично цей чинник позначається на довкіллі в літньо-осінній період, коли фіксується різке зниження обсягу атмосферних опадів. Навіть у разі їхнього випадіння, високі температурні показники зумовлюють надзвичайно швидке випаровування вологи з поверхні землі. Як наслідок, на зазначених територіях стрімко активізуються посушливі та ерозійні процеси, що призводить до глибокого зневоднення й пересихання підстилаючих гірських порід та родючих шарів ґрунту [21].

У теплу пору року через гідрокліматичні аномалії суттєво зменшується загальний об'єм стоку в річках, природних руслах, штучних водосховищах та інших гідрологічних об'єктах регіону [18]. Це явище безпосередньо впливає на динаміку водного потоку, викликаючи значне уповільнення швидкості течії. За таких умов створюються вкрай несприятливі передумови для природного самоочищення та промивки річкових русел від наносів. З року в рік це підвищує ймовірність акумуляції солей, що призводить до зростання показників загальної мінералізації та солоності води до критичних позначок [19]. Спеціалізовані дослідження кількісного та якісного стану водних артерій, проведені на території

Запорізької області протягом останніх трьох років, демонструють невтішні результати. Екологічний моніторинг підтвердив, що наразі жодна з основних річок регіону через незадовільні гідрохімічні параметри не може бути використана для зрошувального землеробства чи забезпечення інших актуальних потреб сільського господарства [15,19].

Основні негативні причини, які мають вплив на різні зміни як у кількісному та якісному і несуть зміни у гідрохімічному стані поверхневих вод [18,48]:

- збільшення мінералізації за рахунок інтенсивного випаровування і через малу кількість води у розбавленні стоків;
- наявність значної концентрації таких іонів як натрій, хлорид та сульфати, які є токсичними;
- недостатньої кількості у воді розчиненого кисню, через зростання температурних показників;
- у теплу пору року утворюється евтрофікація, зокрема наявності у період коли є низька водність і розвиваються біогенні елементи, основні з яких є азот та фосфор.

Рациональне та науково обґрунтоване використання води для зрошення відіграє стратегічно важливу роль у сучасному аграрному секторі[20]. За умови забезпечення високих якісних і гідрохімічних показників поливної води, у довгостроковій перспективі саме вона стає ключовим фактором для стабільного збору високих врожаїв, збереження родючості ґрунтового покриву та підтримання належної екологічної рівноваги [21]. Натомість у разі ігнорування екологічних вимог, за повної відсутності або неефективності систем попереднього очищення та водопідготовки, полив непридатною водою чинить руйнівний вплив на навколишнє середовище. Це призводить до таких катастрофічних наслідків для земельних ресурсів, як прогресуюча деградація штучних агроландшафтів, інтенсивне солонцювання, суттєве зниження загальної врожайності сільськогосподарських культур або навіть повна втрата родючості земель, погіршення фізико-хімічних властивостей ґрунту та розвиток процесів вторинного засолення [20,21].

Для запобігання цим негативним явищам здійснюється комплексна та всебічна оцінка якості поливних вод за чітко визначеними нормативними вимогами. Під час такого аналізу фахівці детально досліджують ключові еколого-меліоративні показники, які мають вирішальне значення для специфічних умов річок Приазов'я. Зокрема, обов'язковому вимірюванню підлягають рівень загальної мінералізації та солоності, коефіцієнт натрієвої адсорбції (SAR), індекс залишкового карбонату натрію (RSC), показники загальної жорсткості, а також водневий показник (pH) [1,20]. На основі цих параметрів визначається ступінь безпеки або потенційної токсичності води для її подальшого внесення на поля.

Оцінювання придатності поверхневих і підземних вод для меліоративних потреб та встановлення можливості їхнього безпечного впровадження у виробництво базується на фундаментальних нормативно-правових документах, серед яких головними є: ДСТУ 2730:2015 «Якість природної води для зрошення. Агрономічні критерії»[1] - національний стандарт України, який регламентує чіткі межі та класифікації якості поливної води відповідно до типу ґрунтів і культур; Міжнародні директиви ФАО (FAO) [20] - методичні рекомендації та стандарти Організації Об'єднаних Націй з питань продовольства та сільського господарства.

Одночасне застосування критеріїв цих двох документів дозволяє об'єктивно й комплексно оцінити поточний екологічний стан водних ресурсів. Це дає змогу точно спрогнозувати наслідки вживання досліджуваної води для природних екосистем, культурних рослин і ґрунтових комплексів як в Україні, так і за її межами, оскільки зазначені світові методики є загальновизнаними на міжнародному рівні.

У географічних межах басейну річок Приазов'я фіксуються високі значення таких специфічних гідрохімічних параметрів, як коефіцієнт натрієвої адсорбції (SAR) та індекс залишкового карбонату натрію (RSC) (табл.1.3, рис.1.2-1.3) [15]. Постійне використання такої мінералізованої води для меліоративних потреб чинить деструктивний вплив на родючі чорноземи, які є переважним типом ґрунтів у цьому сільськогосподарському регіоні. Наукові спостереження свідчать, що регулярне зрошення угідь водою з незадовільними показниками SAR та RSC навіть

протягом відносно короткого періоду - від 3 до 5 років - з високою ймовірністю призводить до катастрофічних екологічних наслідків. Зокрема, у результаті накопичення обмінного натрію та карбонатів у ґрунтовому розчині відбувається різке зниження загальної водопроникності та погіршення аерації орного шару території [1,20]. Це зумовлює процеси пептизації (руйнування) колоїдів, що неминуче тягне за собою деградацію природної структури земельних угідь, втрату їхньої гумусової складової та стрімке падіння загальної біологічної родючості. Як наслідок, на колись продуктивних ділянках відбувається повне руйнування стійкого, якісно структурованого ґрунтового профілю, що замінюється безструктурною, схильною до запливання та кіркоутворення масою, непридатною для ефективного ведення інтенсивного землеробства.

Таблиця 1.3 – Показники якості поверхневих вод за 2023-2025 роки для основних річок Приазов'я [15, 19]

Показник Річка	Мінералізація у мг/л	Солоність у мг/л	SAR (коеф. натрієвої адсорбції)	RSC (карбонат натрію)	Придатність річок Приазов'я для зрошення
Молочна	1200 – 2800 с.з (2 000)	800 – 2200 с.з (1 500)	4,5 – 12,0 с.з (8,3)	1,2 – 4,5 с.з (2,9)	Обмежено придатна/ непридатна зовсім
Берда	900 – 2100 с.з (1 500)	600 – 1700 с.з (1 700)	3,8 – 9,5 с.з (6,7)	0,8 – 3,8 с.з (2,3)	Обмежено придатна
Обитічна	1100 – 2500 с.з (1 800)	750 – 2000 с.з (1 375)	4,2 – 11,0 с.з (7,6)	1,0 – 4,2 с.з (2,6)	Обмежено придатна/ непридатна
Кальміус	1500 – 3500 с.з (2 500)	1100 – 2800 с.з (1 950)	6,0 – 15,0 с.з (10,5)	2,0 – 6,5 с.з (4,3)	Непридатна потрібна значна підготовка
Міус	1800 – 4200 с.з (3 000)	1400 – 3400 с.з (2 400)	7,5 – 18,0 с.з (12,5)	2,5 – 8,0 с.з (5,8)	Непридатна
Грузинсь кий Сланчик	1400 – 3200 с.з (2 300)	1000 – 2600 с.з (1 800)	5,5 – 14,0 с.з (9,8)	1,8 – 5,5 с.з (3,7)	Обмежено придатна/ непридатна

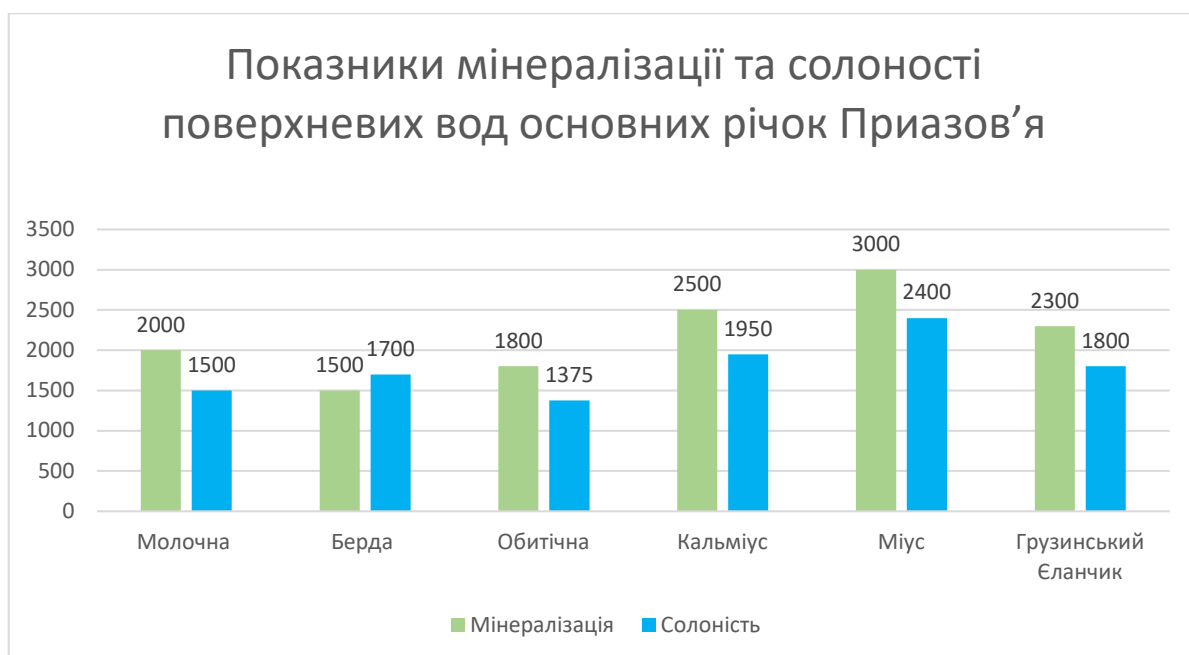


Рисунок 1.2 – Показники мінералізації та солоності поверхневих вод
основних річок Приазов'я

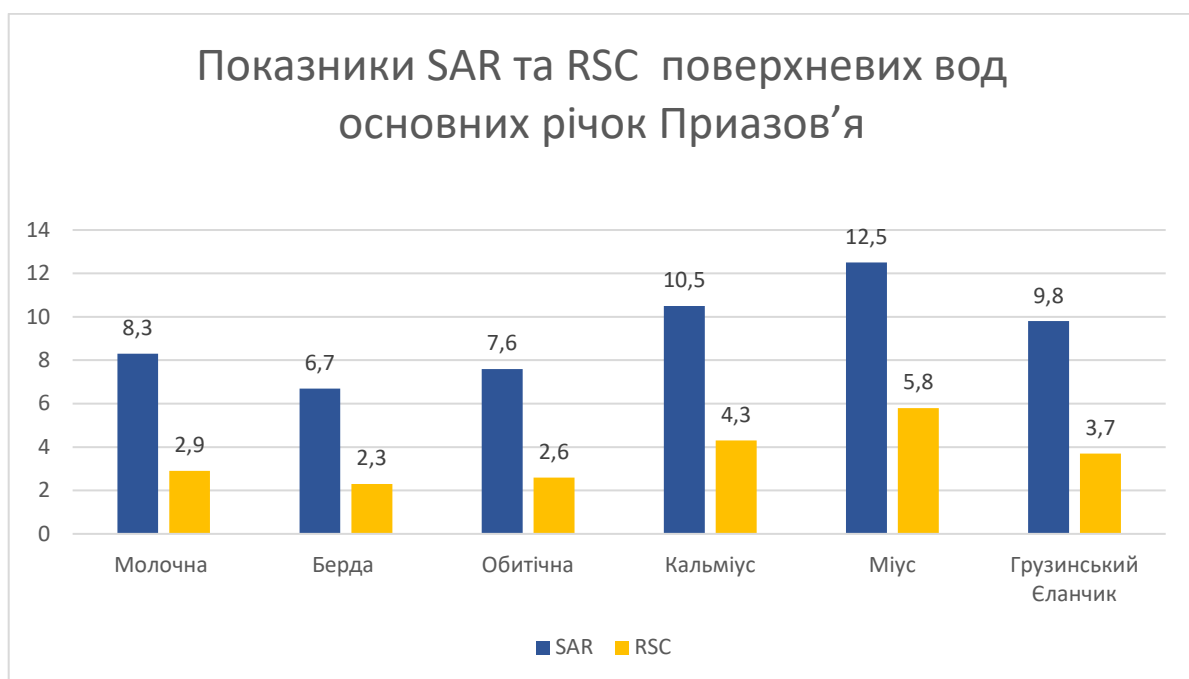


Рисунок 1.3 – Показники SAR та RSC поверхневих вод основних річок
Приазов'я

Згідно значенням (табл.1.3, рис.1.2-1.3) за показниками якості води використання їх для зрошення є непридатним або обмежено придатним.

На основі положень національного стандарту України ДСТУ 2730: 2015 та чинних міжнародних рекомендацій Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (FAO) [1,20], ключовими критеріями оцінки безпеки поливних вод

є рівень їхньої загальної мінералізації та вміст розчинених солей. Згідно з цими нормативними документами, оптимальною для постійного використання на зрошення є вода, сухий залишок якої не перевищує граничне значення у 1000 мг/л. Такий гідрохімічний стан вважається абсолютно безпечним для екосистем: регулярне зрошувальне землеробство із застосуванням цієї води не створює ризиків для родючості земель і не спричиняє деструктивного впливу на рослинний покрив чи структуру ґрунту.

Водночас водні ресурси, показники мінералізації яких перебувають у діапазоні від 1000 до 2000 мг/л, класифікуються як обмежено придатні, а за несприятливих умов — навіть як повністю непридатні для прямого використання. Безконтрольний полив такою водою загрожує швидким накопиченням токсичних солей в орному шарі. Для безпечної експлуатації подібних джерел виникає гостра технологічна потреба у впровадженні комплексу спеціальних агротехнічних та інженерних заходів. Основними серед них є: хімічна меліорація ґрунтів (наприклад, гіпсування для витіснення обмінного натрію з ґрунтового поглинального комплексу); перехід на локальне крапельне зрошення, що дозволяє чітко дозувати подачу вологи безпосередньо в кореневу зону; проведення регулярних промивних поливів підвищеними нормами води для вимивання легкорозчинних солей у нижні шари ґрунтового профілю.

Якщо ж рівень загальної мінералізації та солоності природної води перевищує критичну позначку у 2000 мг/л, такий ресурс визнається абсолютно непридатним для будь-яких меліоративних потреб. Полив солоною водою з такими характеристиками призводить до миттєвого солонцювання та хімічного отруєння агроландшафтів. Ситуація, що склалася на подібних об'єктах, вимагає негайного та радикального втручання фахівців, зокрема повного припинення поливу або застосування промислових методів штучного демінералізування та опріснення води перед її подачею на поля.

По показникам SAR та RSC - коефіцієнт натрієвої адсорбції та залишок карбонату натрію - SAR:

- низький коефіцієнт води — до 3 мг-екв/л;

- посередній коефіцієнт води – з 3 до 9 мг-екв/л;
- високий коефіцієнт води – 9 і більше мг-екв/л.

За RSC якість поверхневих вод:

- низький ризик (придатна) – до 1,25 мг-екв/л;
- середній ризик (обмежено придатна) – з 1,25 до 2,5 мг-екв/л;
- високий ризик (непридатна) – 2,5 і більше мг-екв/л.

У вкрай складних умовах сучасних глобальних та регіональних кліматичних змін гостро постає об'єктивна необхідність запровадження інноваційних комплексних підходів до охорони поверхневих вод та сталого управління ними. Ключовим суб'єктом, який безпосередньо забезпечує реалізацію цих екологічних та водоохоронних заходів на регіональному рівні, є Басейнове управління водних ресурсів (БУВР) річок Приазов'я [10]. Ця державна установа на постійній основі здійснює систематичний і всебічний моніторинг стану вразливих водних об'єктів Приазовського басейну. Діяльність управління охоплює регулярний відбір проби води для проведення детальних хімічних, фізичних та біологічних аналізів, ретельну фіксацію поточного екологічного стану водойм, а також безперервний контроль їхнього складного гідрологічного режиму [15].

Не менш важливим і стратегічно значущим вектором роботи БУВР річок Приазов'я є довгострокове наукове прогнозування майбутніх трансформацій гідрологічної мережі. Такі прогностичні моделі розробляються з урахуванням динаміки різноманітних природних, антропогенних та кліматичних чинників [14]. Отримані аналітичні дані слугують фундаментальною основою для планування подальшого розвитку регіону. Вони дозволяють чітко визначити, яким чином існуючі та новостворювані водогосподарські системи, меліоративні комплекси й гідротехнічні інженерні споруди будуть адаптуватися до прогресуючих змін клімату, аби забезпечити водно-екологічну безпеку та безперебійне водопостачання всього досліджуваного регіону в майбутньому.

1.4 Використання поверхневих вод у зрошувальному землеробстві за аналізом зарубіжного досвіду

Для забезпечення стабільного, високопродуктивного та якісного сільськогосподарського виробництва в сучасних реаліях критично важливою умовою є впровадження штучного зрошення із використанням поверхневих водних джерел [22,50]. Застосування поливу стає ключовим агротехнічним заходом, оскільки одним із найгостріших екологічних викликів сьогодення є прогресуючий дефіцит природної вологи в ґрунті. Найбільше від цієї проблеми потерпають країни та регіони, де теплий і засушливий період триває більшу частину року, а атмосферні опади або взагалі відсутні, або випадають у вкрай незначній, недостатній для вегетації рослин кількості [51].

Для держав із таким аридним і напіваридним кліматом життєво необхідним вектором розвитку є розробка та практичне впровадження інноваційних, ефективних підходів до управління водними ресурсами. Такі стратегії покликані якщо не повністю нівелювати, то принаймні мінімізувати негативне антропогенне та кліматичне навантаження на гідрологічні об'єкти. Комплексний підхід дозволяє оптимізувати як кількісні та якісні показники поверхневих і підземних вод, так і фізико-хімічні властивості ґрунтового покриву, що в цілому сприяє суттєвому підвищенню стійкості навколишнього природного середовища та збереженню біорізноманіття.

Детальний аналіз передового зарубіжного досвіду свідчить про наявність багатьох успішних прикладів у різних частинах світу, де впровадження прогресивних технологій меліорації дозволило досягти винятково позитивних результатів [22,50]. Провідні країни, які функціонують в умовах дефіциту зволоження (зокрема держави Близького Сходу, Південної Європи, Північної Африки та окремі штати США), демонструють високу ефективність безпечного

використання поверхневих вод у зрошувальному землеробстві (табл.1.4) [51]. Їхні напрацювання у сфері очищення, точного дозування та моніторингу поливних вод є еталоном для модернізації аграрного сектору та адаптації екосистем до глобальних змін клімату.

1. Країни ЄС (Іспанія, Італія, Франція) акцентують свою увагу на раціональне водокористування, ключовими з яких є крапельний полив, використання вод, які були вже використанні, але очищенні перед цим та мікрозрошення [22,50]. Використання здійснюється переважно поверхневих вод через спеціальні канали та водосховища. Впровадження певних комплексних заходів зменшує загальне навантаження на ґрунти, через модернізацію систем для зрошення, використання і розробку сучасних автоматизованих технологій і не менш важливо це впровадження політики для даних країн, які повинні слідкувати за раціональним водокористуванням [50].

2. США, Канада використовують певні заходи рециркуляції вод дренажного походження та з'єднання цих вод з менш мінералізованою, це є спеціальна технологія, що є показовим успіхом, для таких культур як: виноградники, овочеві культури та сади з мигдалевими культурами [51]. Регулювання технологій по використанню вод у зрошенні, має своє базування на спеціальних даних до яких відноситься погодні умови, відсоткова вологість використововуваного ґрунту та загальної необхідності у потребі рослин. Усі ці дії дозволяють роботу у землеробстві зрошення оптимізувати і тим підняти рівень ефективності за рахунок використання різних методів, це може бути також вживати і для водних ресурсів які з низькою якістю [51].

3. Ізраїль, Йорданія використовують на фермах змішування води мінералізованої та прісної, внесення у хімічну меліорацію гіпсу який в свою чергу знижує SAR і не менш важливо, це використовуються стійкі до цієї місцевості сорти культур, основні з яких є оливки, деякі сорти томатів і картоплі, а також виноград і фінікову пальму [50]. Дана країна є досить високі і позитивні землі для зрошення, адже більш ніж 50% цих земель мають мінералізацію менш ніж 1000 мг/л, все це

через проведення і дослідження місцевості де проводиться моніторинг, а також вод дренажного походження [51].

4. Індія, Китай через те, що поверхневі води мають велику мінералізацію запроваджуються ключові заходи які вирішують проблеми сучасності для цих країн, як основні це: вживання під час зрошення крапельного та підповерхневого надходження вод у ґрунт, запровадження дренажних систем, які зупиняють і залишають на необхідному рівень ґрунтових вод, також необхідність у внесенні цих вод таких добрив як гіпс та інших органічних, щоб структурувати якість і стан ґрунту і відбір лише культур, які стійких при соле та посухо кліматі такими є (ячмінь, люцерна, деякі види бавовни, а також сорго) [22,51].

5. Австралія, Нова Зеландія спеціальні комбіновані системи, які дозволяють мінімізувати і використовувати навіть поверхневі води, де показники мінералізації є неприпустимими, все це через вживання декількох заходів, як приклад: крапельне зрошення та спеціальні промивні поливи, які використовуються з певною періодичністю, при необхідності вимивання солей, де їх кількість складає великий відсоток у кореновому шарі, також є впровадження таких заходів як датчики вологості і визначення солоності ґрунту, де необхідність балансу відіграє важливу роль для використання цих ґрунтів у зрошенні [50,51].

6. В Україні є області такі як: Херсонська, Запорізька, Миколаївська та Одеська, де до 2000 років використовувалась поверхнева вода з перевищенням показників, через відсутність знань та специфіки по очистці вод, для їх якісного і позитивного використання, тож після 2000 років, було запроваджено деякі заходи, які лише частково очищували, а проблеми залишались, і ось вже після 2021 років було внесені певні заходи, особливо це було необхідно після підриву Каховської ГЕС та воєнних дій, що значно погіршило стан поверхневих вод, тож використання досвіду аналізування країн світу, необхідно впровадити розширення крапельного зрошення, а не часткового, підготовку води, проведення змішування, хімічну меліорацію або ж і необхідність у частковому очищенні, на постійній основі моніторинг сольового стану ґрунту, облаштування систем дренажного походження

та вирощування певних культур, які забезпечать позитивну динаміку для зрошення і загального стану ґрунтів [19,21,45,48].

1.5 Моніторинг та управління БУВР річок Приазов'я у водокористуванні.

БУВР річок Приазов'я на постійній і системній основі здійснює державний моніторинг та комплексний контроль стану поверхневих водних об'єктів [10]. Ця діяльність спрямована на задоволення питних і господарсько-побутових потреб населення, забезпечення загального водокористування, а також на підтримку сталого функціонування систем штучного зрошення. Географічна зона відповідальності управління охоплює території басейну річок Приазов'я, розташовані переважно в межах Запорізької області [10,15].

Відповідно до покладених функцій, до переліку основних стратегічних і практичних завдань БУВР річок Приазов'я належать [10,14]: організація та систематичне проведення моніторингу поверхневих вод, що включає регулярний відбір проб для детального аналізу їхніх кількісних (гідрологічних) та якісних (гідрохімічних і гідробіологічних) показників; ведення державного обліку водокористування та систематизація даних про екологічний стан і об'єми наявних поверхневих водних ресурсів; участь у регулюванні процесу видачі дозволів на спеціальне водокористування, зокрема на забір поверхневих вод для потреб зрошувального землеробства та інших галузей господарства; розробка, коригування та впровадження заходів у межах Плану управління річковим басейном (ПУРБ) [14], спрямованих на адаптацію водогосподарського комплексу до поточних і прогнозованих глобальних змін клімату; регулювання та оптимізація водогосподарського балансу в усьому басейні річок Приазов'я для запобігання дефіциту водних ресурсів; координація, контроль та забезпечення встановлених режимів роботи на об'єктах водогосподарсько-меліоративного призначення, гідротехнічних спорудах, ставках і водосховищах.

У межах басейну річок Приазов'я особлива увага приділяється головним водним артеріям регіону, які досліджуються на постійній основі. До них належать річки Молочна, Берда та Обіточна. Саме ці водотоки відіграють вирішальну роль у формуванні гідрологічної мережі Приазов'я [10,15]. БУВР здійснює постійний нагляд та впроваджує необхідні водоохоронні заходи задля об'єктивної оцінки екологічної ситуації, мінімізації антропогенного навантаження на ці поверхневі води та приведення їхніх показників у відповідність до чинних екологічних нормативів і стандартів якості. За результатами цієї роботи щороку складається комплексний звіт, де детально прописуються планові заходи щодо поліпшення якісного стану та збільшення кількісних обсягів доступних водних ресурсів регіону [15].

З огляду на вищезазначені гідрохімічні та гідрологічні дані, вкрай актуальним завданням є впровадження сучасних інноваційних технологій водопідготовки. Для обґрунтування доцільності та ефективності застосування конкретних методів очищення і поліпшення якості вод Приазовського регіону, що використовуються для потреб зрошення, було проведено детальний SWOT-аналіз (сильні та слабкі сторони, можливості та загрози), результати якого систематизовано й наведено нижче (табл.1.4).

На 2025-2026 роки БУВР проводить необхідні сучасні моніторингові показники поверхневих вод:

- діагностичний (проводиться моніторинг масивів поверхневих та підземних вод);
- операційний (проводиться моніторинг масивів поверхневих та підземних вод);
- дослідницький (проводиться моніторинг масивів поверхневих вод).

Таблиця 1.4 – SWOT-аналіз впровадження технологій водопідготовки для зрошення басейну річок Приазов'я

S - Сильні сторони: 1. Наявність розвиненої мережі поверхневих вод близько 150+ річок; 2. Постійний моніторинг БУВР; 3. Доступність для зрошення в масштабах регіону; 4. Висока родючість через переважну кількість чорноземів.	W - Слабкі сторони: 1. Критично висока мінералізація для місцевості Приазов'я; 2. Перевищення показників SAR та RSC; 3. Зношена інфраструктура та обмежений бюджет на модернізацію ; 4. Частина басейну на тимчасово окупованій території.
O - Можливості: 1. Впровадження повного крапельного зрошення по усій території Приазов'я; 2. Євроінтеграція та доступ до фондів ЄС і наукове партнерство з НААН України; 3. Застосування сучасних або модернізацію технологій; 4. Цифровізація моніторингу.	T - Загрози: 1. Погіршення якості вод через воєнні дії та підлив Каховської ГЕС - дефіцит прісної води; 2. Глобальне потепління та розвиток посухи і евтрофікації; 3. Вторинне засолення та солонцювання чорноземів; 4. Дефіцит фінансування.

Головним об'єктом постійних науково-екологічних досліджень у регіоні є річка Молочна разом із її притоками. Ця водна артерія виступає одним із ключових і стратегічно важливих джерел децентралізованого та централізованого водопостачання для потреб зрошувального землеробства в Запорізькій області [15].

Регулярне проведення комплексного моніторингу є критично необхідним для точного визначення гідрохімічного складу вод басейну Приазов'я. Програма досліджень охоплює вимірювання рівнів загальної мінералізації та солоності, фіксацію концентрації токсичних важких металів, оцінку вмісту біогенних елементів (сполук азоту та фосфору), а також детальний аналіз гідрологічних і гідробіологічних показників, які безпосередньо характеризують динаміку коливання рівня води та обсяги річкового стоку [10,15].

У межах діяльності БУВР річок Приазов'я базовим стратегічним документом є План управління річковим басейном (ПУРБ), розроблений і затверджений на перспективний період з 2025 по 2030 роки [14]. У цьому міжгалузевому документі чітко зафіксовано довгострокові екологічні цілі та практичні заходи, спрямовані на

досягнення доброго екологічного стану водойм, а також на суттєве зниження показників антропогенного й техногенного навантаження. Окрему увагу в ПУРБ приділено розробці механізмів адаптації водогосподарського комплексу південно-східної частини України до умов воєнного стану та глобальних кліматичних змін. Зокрема, нормативами плану чітко регламентовано, що в періоди екстремального маловоддя (низької водності) регулярний відбір проб для господарських потреб обмежується або повністю забороняється, оскільки пріоритет зміщується на безперерйне забезпечення питною водою населення Запорізької області та на задоволення першочергових санітарно-екологічних потреб річкових екосистем.

Існує низка критичних проблем сучасності, що виникли внаслідок повномасштабної агресії з 2022 року, які фахівці БУВР наразі не мають об'єктивної можливості вирішити самостійно:

- Тимчасова окупація територій. Переважна частина басейну річок Приазов'я, включаючи самі русла таких важливих водних артерій, як Молочна, Берда, Обіточна, Кальміус та Міус, тимчасово перебуває під окупацією. Через це будь-які моніторингові та водоохоронні дії наразі можливі виключно на підконтрольних Україні ділянках, зокрема на доступних притоках і витоках річок;
- Руйнація водної інфраструктури. Повне знищення або суттєве пошкодження значної частини об'єктів гідротехнічної інфраструктури та меліоративних систем внаслідок бойових дій як на підконтрольній, так і на тимчасово окупованій території України;
- Ресурсний дефіцит. Вкрай обмежені обсяги цільового фінансування та гостра нестача кваліфікованих кадрів і профільних працівників, що унеможлиблює оперативне вирішення масштабних кризових ситуацій у водогосподарському секторі;
- Надмірне техногенне навантаження. Колосальне антропогенне та логістичне навантаження на обмежену кількість водних об'єктів, що залишилися на підконтрольній території.

Попри всі виклики, БУВР річок Приазов'я залишається провідним інститутом у сфері дослідження поточного стану поверхневих та підземних водних

горизонтів. Фахівці управління безперервно здійснюють екологічний моніторинг, контролюють цільове використання вод за призначенням, беруть участь у погодженні та видачі дозволів на забір води для потреб зрошення з урахуванням сезонних лімітів, а також забезпечують жорсткий нагляд за дотриманням нормативно-екологічних вимог. Усі зібрані дані щороку проходять комплексну аналітичну обробку, що дозволяє формувати актуальні рекомендації для адаптації аграрного сектору до умов прогресуючого дефіциту вологи.

З метою переходу до засад сталого водокористування, науковцями було систематизовано та згруповано ключові фактори розвитку зрошувального землеробства Приазов'я. Їх розподілено за двома взаємопов'язаними стратегічними ознаками: інтенсивним (якісним) шляхом розвитку, що передбачає впровадження новітніх технологій водозбереження, та екстенсивним (кількісним) шляхом, який орієнтований на масштабування площ та об'ємів використання ресурсів, що детально відображено у табл. 1.5).

Таблиця 1.5 – Класифікація факторів впливу на водний баланс річок Приазов'я

Фактори	Інтенсивні фактори (підвищення ефективності)	Екстенсивні фактори (кількісне нарощення)
Агрокліматичні	Впровадження крапельного зрошення; застосування водозберігаючих технологій; хімічна меліорація ґрунтів	Розширення площ зрошення; збільшення забору води; будівництво нових водосховищ
Технологічні	Застосування зворотного осмосу та електродіалізу; автоматизовані системи моніторингу; БАТ-технології	Збільшення числа насосних станцій; прокладання нових каналів; закупівля додаткового обладнання
Управлінські	Удосконалення ПУРБ (2025-2030); інтегроване управління водними ресурсами; GIS-моніторинг	Збільшення кількості пунктів моніторингу; залучення додаткових інспекторів БУВР
Екологічні	Відновлення водно-болотних угідь; промивні поливи; гіпсування та фіторе mediaція	Збільшення буферних зон; розширення охоронних смуг; додаткові природоохоронні заходи
Нормативно-правові	Гармонізація з WFD, ЄС; оновлення ДСТУ 2730: 2015; ліцензування водокористування	Нові ліцензії на водозабір; поширення зони відповідальності БУВР

Представлена класифікація чітко демонструє наявність двох принципово різних, але взаємодоповнюючих стратегічних підходів до управління водним балансом Приазовського регіону в умовах сучасних кліматичних та антропогенних викликів: інтенсивного (якісного) та екстенсивного (кількісного).

Головний аналітичний висновок полягає в тому, що подальший сталий розвиток зрошувального землеробства та збереження гідрологічного балансу річок Приазов'я (зокрема в Запорізькій області) має базуватися на безумовному пріоритеті інтенсивних факторів. Просте екстенсивне нарощування кількісних показників у регіоні з прогресуючим дефіцитом вологи та високим рівнем мінералізації природних вод має жорсткі природні межі й загрожує системною деградацією агроландшафтів.

Для Приазовського регіону екстенсивні фактори мають відігравати виключно допоміжну роль (як засіб відновлення зруйнованої інфраструктури та базового інженерного каркаса).

Основою сучасної водогосподарської політики має стати інтенсифікація. Тільки через модернізацію систем очищення, цифровізацію управління, впровадження жорсткого екологічного ліцензування та водозберігаючих агротехнологій можливо мінімізувати водно-екологічні ризики, адаптувати агросектор до глобальних змін клімату та забезпечити стабільну продуктивність місцевих чорноземів.

2 ОЦІНКА ЯКОСТІ ТА ПРИДАТНОСТІ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД ДЛЯ ЗРОШЕННЯ

2.1 Методика оцінки якості поверхневих вод для зрошення

Комплексна оцінка екологічного та гідрохімічного стану поверхневих вод у межах басейну річок Приазов'я здійснюється на основі суворого дотримання стандартизованих методик [1,3]. Процес дослідження є багатоетапним і вимагає послідовного та бездоганного виконання трьох ключових взаємопов'язаних стадій.

1. Перший етап - безпосередній відбір репрезентативних проб води. Ця процедура проводиться у чітко визначених створах як у верхніх, так і в нижніх б'єфах досліджуваних річкових систем з метою отримання об'єктивної картини розподілу речовин за течією [3,15].

2. Другий етап - належне консервування, зберігання та транспортування. Відібраний матеріал поміщають у спеціалізовані резервуари для утримання в лабораторних умовах або для подальшого безпечного перевезення до сторонніх сертифікованих лабораторій, науково-дослідних організацій чи профільних управлінь водних ресурсів [3].

3. Третій етап - проведення розгорнутих лабораторних аналізів. На цій стадії виявляють концентрації різноманітних хімічних сполук, токсичних речовин та біогенних елементів. Отримані результати слугують основою для прогнозування та оцінювання екологічних трендів водного об'єкта, а також для верифікації придатності цих вод для потреб зрошувального землеробства відповідно до діючих суворих еколого-меліоративних нормативів і критеріїв якості [1,20].

Основним базовим стандартом, регламентуючим процеси поводження із відібраним матеріалом, є ДСТУ ISO 5667 – 3: 2001 «Якість води. Відбирання проб. Частина 3. Настанови щодо зберігання та поводження з пробами» [3]. Поверхневі води, вилучені з досліджуваної річки, мають транспортуватися та зберігатися у

лабораторіях за умов, що повністю виключають зміну їхнього первісного стану. Забезпечення стабільності хімічного та фізичного складу проби з моменту її взяття є критично важливим, оскільки будь-які сторонні реакції, випадання осаду чи біодеградація сполук викривлять кінцеві результати аналізу і унеможливають коректну оцінку реального стану водойми [3].

Згідно з вимогами вищезгаданого стандарту, забір води має здійснюватися виключно у хімічно чисті пластикові або скляні ємності. Вибір таких матеріалів гарантує повну відсутність хімічної взаємодії між стінками посудини та досліджуванним розчином, завдяки чому всі вихідні фізико-хімічні показники залишаються незмінними.

Для точного та якісного визначення ключових параметрів - зокрема водневого показника (pH), загальної жорсткості, концентрації завислих речовин, коефіцієнта натрієвої адсорбції (SAR), індексу залишкового карбонату натрію (RSC) та інших специфічних макро- й мікрокомпонентів - відібрані проби підлягають негайному охолодженню. Температурний режим утримування має становити від +2 °C до +5 °C. При цьому весь спектр аналітичних досліджень необхідно виконати у чітко обмежений часовий проміжок - від 24 до 48 годин після моменту забору [24].

У випадках, коли планується аналіз на вміст важких металів та окремих катіонів, виникає потреба у застосуванні специфічних хімічних консервантів, найефективнішим серед яких є концентрована азотна кислота (HNO_3). До проведення аналітичних процедур усі проби повинні транспортуватися та зберігатися у спеціальних термоізованих контейнерах, які повністю блокують проникнення сонячного та ультрафіолетового проміння, нівелюють різкі температурні коливання, а також гасять механічні вібрації та поштовхи. Ігнорування цих захисних вимог неминуче призведе до спотворення результатів аналізів, через що виникне потреба у проведенні повторного, фінансово та часово затратного відбору проб.

Якість поверхневих вод безпосередньо проводиться з відбору проб у гирлі річки та у створі греблі. Моніторинг проводиться Басейновим управлінням водних

ресурсів річок Приазов'я з урахуванням кліматичних змін, сезонних особливостей та гідрологічного режиму.

Використання відібраної проби поверхневих вод для зрошення здійснюється за такими показники як: мінералізація, pH, SAR, RSC, іонний склад (Na , Ca , Mg , HCO_3 , Cl , SO_4), жорсткість води, завислі речовини, БПК₅ та ХПК [1].

Основні три класи по придатності води є:

- 1 клас – придатна;
- 2 клас – обмежено придатна;
- 3 клас – непридатна.

Для визначення і порівняння використання води, безпосередньо у зрошеному землеробстві є такі нормативи як: ДСТУ 2730:2015 «Якість води для зрошення. Агрономічні критерії» та FAO по рекомендації Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН.

2.2 Моніторинговий аналіз гідрохімічного стану річок Приазов'я

Відбір проб з річок Приазов'я здійснюється, де проводиться моніторинг по якості і можливості використання вод у різних сферах (табл.2.1) [10,15].

Проведення по визначенню показників поверхневих вод відбувається у лабораторіях де досліджується гідрохімічний стан, як зі створів греблі так і гирла річки.

На основі результатів проведеного комплексного лабораторного аналізу та детальної інтерпретації отриманих гідрохімічних показників можна констатувати критичний стан досліджуваних водних об'єктів. Практично за всіма контрольованими параметрами фіксується стійке та суттєве перевищення встановлених екологічних та санітарно-меліоративних нормативів.

Таблиця 2.1 – Гідрохімічний моніторинг стану річок Приазов'я

Речовини та сполуки по дослідженню БУВР річок Приазов'я	Показники речовин та сполук БУВР річок Приазов'я
Na	312,45 мг/дм ³
Ca	488,976 мг/дм ³
Mg	255,36 мг/дм ³
HCO ₃	367,80 мг/дм ³
Cl	439,617 мг/дм ³
SO ₄	1852,2 мг/дм ³
NH ₄	0,11 мг/дм ³
PO ₄	0,07 мг/дм ³
Нітрити	0,048 мг/дм ³
Нітрати	3,30 мг/дм ³
Мінералізація	6341,0 мг/дм ³
Електропровідність	6,45 мкСм/см
pH	8,12 од
SAR (коефіцієнт натрієвої адсорбції)	4,2 мг-екв/дм ³
RSC (карбонат натрію)	1,4 мг-екв/дм ³
Жорсткість води	45,4 ммоль/дм ³
ХПК	60,0 мг O ₂ /дм ³
БПК ₅	10,1 мг O ₂ /дм ³
Завислі речовини	137,2 мг/дм ³
Розчинений кисень	9,67 мг/дм ³
Нафтопродукти	0,032 мг/дм ³
Феноли	0,001 мг/дм ³
АПАР	0,15 мг/дм ³
Залізо	0,29 мг/дм ³
Мідь	0,01 мг/дм ³
Марганець	0,04 мг/дм ³
Цинк	0,025 мг/дм ³
Хром	0,015 мг/дм ³

Особливо чітко ця деструктивна тенденція простежується за такими ключовими критеріями, як рівень загальної мінералізації (сухого залишку) та показники загальної лужності води. Виявлені аномально високі значення свідчать про інтенсивне антропогенне навантаження на водотоки Приазов'я та прогресуючі процеси природного накопичення солей, що значно обмежує потенціал використання цих поверхневих ресурсів у сільськогосподарському виробництві та потребує впровадження негайних заходів із водопідготовки (табл.2.2).

Таблиця 2.2 – Показники поверхневих вод для річок Приазов'я і нормативи їх для зрошення згідно даних управління БУВР [1,15,20]

Показник	Показники речовин та сполук БУВР річок Приазов'я	Нормативні значення для зрошеного землеробства згідно ДСТУ 2730: 2015, FAO
Na	312,45 мг/дм ³	200 мг/дм ³
Ca	488,976 мг/дм ³	-
Mg	255,36 мг/дм ³	-
HCO ₃	367,80 мг/дм ³	-
Cl	439,617 мг/дм ³	350 мг/дм ³
SO ₄	1852,2 мг/дм ³	500 - 1000 мг/дм ³
NH ₄	0,11 мг/дм ³	5 мг/дм ³
PO ₄	0,07 мг/дм ³	2,0 мг/дм ³
Нітрити	0,048 мг/дм ³	0,5 мг/дм ³
Нітрати	3,30 мг/дм ³	50 мг/дм ³
Мінералізація	6341,0 мг/дм ³	до 1000 (1 клас) / 4000 (3 клас) мг/дм ³
Електропровідність	6,45 мкСм/см	2250 мкСм/см
pH	8,12 од	6,5 – 8,4 од
SAR (коефіцієнт натрієвої адсорбції)	4,2 од	до 3 од (низький ризик) від 3 до 9 од (середній) від 9 і вище (високий)
RSC (карбонат натрію)	1,4 мг-екв/дм ³	1,25 мг-екв/дм ³
Жорсткість води	45,4 ммоль/дм ³	-
ХПК	60,0 мг O ₂ /дм ³	30 – 50 мг O ₂ /дм ³
БПК ₅	10,1 мг O ₂ /дм ³	3 – 6 мг O ₂ /дм ³
Завислі речовини	137,2 мг/дм ³	100 – 150 мг/дм ³
Розчинений кисень	9,67 мг/дм ³	6 мг/дм ³
Нафтопродукти	0,032 мг/дм ³	0,3 мг/дм ³
Феноли	0,001 мг/дм ³	0,001 мг/дм ³
АПАР (аніонні поверхнево-активні речовини)	0,15 мг/дм ³	0,5 мг/дм ³
Залізо	0,29 мг/дм ³	5,0 мг/дм ³
Мідь	0,01 мг/дм ³	0,2 мг/дм ³
Марганець	0,04 мг/дм ³	0,2 мг/дм ³
Цинк	0,025 мг/дм ³	2,0 мг/дм ³
Хром	0,015 мг/дм ³	0,1 мг/дм ³

На основі отриманих гіdroхімічних результатів та їхнього порівняльного аналізу з чинними нормативними еколого-меліоративними стандартами можна констатувати, що якісний стан поверхневих вод у басейні річок Приазов'я є критичним. Наразі жодна з досліджуваних річкових артерій регіону не відповідає встановленим вимогам безпеки, що унеможливорює їхнє пряме та безконтрольне використання у зрошувальному землеробстві [15,19]. Найбільш деструктивним

чинником виступає аномально високий рівень загальної мінералізації. Відповідно до агрономічних критеріїв, гранично допустима концентрація сухого залишку для безпечного поливу не повинна перевищувати 1000 мг/дм³. Проте у випадку аналізованих річок Приазовського басейну ця норма перевищена в середньому у 2–6 разів. Унаслідок такого сильного засолення досліджувана вода класифікується за другим і третім класами якості, переходячи в категорію обмежено придатної або повністю непридатної для меліорації [1].

Ситуація ускладнюється суттєвим перевищенням граничних лімітів за вмістом сульфатів та хлоридів, які мають високу токсичність для сільськогосподарських культур. Водночас аналіз показника SAR свідчить про наявність середнього рівня ризику прояву процесів солонцювання ґрунтів у разі тривалого поливу. Додатковою технологічною проблемою є висока концентрація завислих речовин. Через накопичення нерозчинних часток та відсутність попередньої механічної очистки води створюються значні перешкоди для функціонування систем крапельного зрошення: відбувається швидке замулювання емітерів (крапельниць) та вихід дорогого обладнання з ладу, що суттєво ускладнює адаптацію аграрного сектору до сучасних змін клімату.

Для родючих земель Приазовського регіону інтенсивне використання таких некондиційних вод уже зараз має помітні негативні наслідки, серед яких найнебезпечнішим є прогресуюче вторинне засолення. Зважаючи на те, що в місцевому ґрунтовому покриві абсолютно переважають високоцінні чорноземи, тривале зрошення мінералізованою водою призводить до глибокого погіршення та зниження їхніх природних фізико-хімічних і водно-фізичних властивостей. Основними каталізаторами цих деградаційних процесів виступають підвищена жорсткість поливної води, яка руйнує оптимальну структуру ґрунту, а також стабільне лужне середовище ($\text{pH} > 7$), що порушує процеси мікробіологічної активності та блокує засвоєння рослинами необхідних поживних елементів з орного горизонту.

Згідно зі звітними даними та критеріями національного стандарту ДСТУ 2730:2015, усі без винятку річки Приазовського басейну за своїми

гідрохімічними параметрами відносяться до II та III класів якості [1]. Через критичний рівень мінералізації та незадовільний хімічний склад наразі жодна річка регіону в її природному стані не є придатною для безпосереднього використання у зрошувальному землеробстві [24,25]. Експлуатація цих водних ресурсів для поливу сільськогосподарських угідь стає можливою виключно після впровадження комплексної системи спеціальних меліоративних та інженерно-технологічних заходів, яка складається з трьох ключових етапів

Перший етап - обов'язкова механічна очистка води. Цей процес спрямований на видалення грубодисперсних домішок, завислих речовин та органічного сміття. Очищення реалізується двома взаємодоповнюючими шляхами: пропусканням водного потоку крізь систему спеціальних механічних фільтрів та затримуючих сіток різної фракційності, а також методом тривалого гравітаційного відстоювання води у спеціалізованих резервуарах (відстійниках), де тверді мікрочастинки осідають на дно.

Другий етап - хімічна меліорація поливних вод та ґрунту. Основним методом тут є гіпсування (внесення сиромолотного гіпсу або фосфогіпсу). Цей захід необхідний для нейтралізації надлишкової лужності, показники якої в річках Приазов'я суттєво перевищують гранично допустимі нормативи ДСТУ. Завдяки хімічній взаємодії кальцій із гіпсу витісняє токсичний обмінний натрій із ґрунтового поглинального комплексу, що кардинально покращує загальні фізико-хімічні та водно-фізичні властивості чорноземів, оптимізує їхню структуру та створює тривке підґрунтя для відновлення і підвищення природної родючості земель.

Третій етап - перехід на прогресивні технології поливу, зокрема крапельне зрошення. Впровадження локального мікрозрошення є життєво необхідною умовою в контексті адаптації аграрного сектору до сучасних глобальних змін клімату та прогресуючого дефіциту вологи. За такої технології підготовлена вода подається дозовано безпосередньо у прикореневу зону культурних рослин, що мінімізує її випаровування та запобігає промиванню солей у верхні шари ґрунтового профілю.

Ігнорування вищезазначених технологічних етапів та використання некондиційної річкової води без попередньої підготовки неминуче призведе до незворотних наслідків. Насамперед існує надзвичайно висока ймовірність стрімкої деградації ґрунтового покриву через солонцювання та вторинне засолення. Як наслідок, це зумовить різке падіння врожайності сільськогосподарських культур, а в найгірших сценаріях — призведе до повної втрати продуктивності угідь та системного погіршення загального екологічного стану всієї місцевої агроєкосистеми.

2.3 Ризики при використанні води для зрошення

Поверхневі води річок Приазовського басейну мають стратегічно важливе значення для підтримання екологічної рівноваги в навколишньому природному середовищі, забезпечення питних і господарсько-побутових потреб місцевого населення, а також для збереження належного стану родючого ґрунтового покриву регіону. Проте наявність у цих водних об'єктах комплексних екологічних та гідрохімічних ризиків суттєво нівелює їхні корисні властивості й створює передумови для масштабної деградації агроландшафтів. Головна небезпека полягає в активізації процесів вторинного засолення та розвитку високого ризику солонцювання земель. Ці деструктивні явища провокуються стійким і значним перевищенням гранично допустимих концентрацій (ГДК) таких хімічних елементів та сполук, як натрій, кальцій, магній, хлориди, сульфати та гідрокарбонати[15,19].

Надмірна акумуляція зазначених іонів у поверхневому стоці становить пряму загрозу для стабільного функціонування всієї агроєкосистеми Приазов'я, оскільки токсичні солі руйнують структуру ґрунту, знижують його водопроникність та пригнічують ріст сільськогосподарських культур. Крім того, використання некондиційної води із незадовільними гідрохімічними характеристиками для пиття або приготування їжі людиною тягне за собою серйозні медико-екологічні

наслідки. Систематичне вживання такої мінералізованої води призводить до накопичення надлишку солей в організмі, що негативно позначається на роботі серцево-судинної системи, шлунково-кишкового тракту та нирок, викликаючи неминуче погіршення загального стану здоров'я населення регіону[20,21].

2.3.1 Розрахунок ризику засолення ґрунтів

Ризик вторинного засолення ґрунтів визначається через коефіцієнт засолення (K_z), який розраховується за формулою [1,20]:

$$K_z = \frac{M}{M_{\text{норм}}}, \quad (2.1)$$

де M – фактична мінералізація поверхневих вод, мг/дм³;

$M_{\text{норм}}$ – нормативне значення мінералізації при використанні вод для зрошення (згідно ДСТУ 2730: 2015, до 1000 мг/дм³ – придатна; від 1000 – 2000 мг/дм³ – обмежено придатна або потрібна значна підготовка; більш ніж 2000 мг/дм³ – непридатна)

Згідно таблиці 2.1 фактична мінералізація вод Приазов'я $M = 6341,0$ мг/дм³.

$$K_z = \frac{6341,0}{1000} = 6,34.$$

Нормативне значення перевищує показник у 6,34 рази, що робить воду непридатною і використання її у будь-яких потребах, може вплинути як на населення, деградацію агроєкосистем і також засолення ґрунтів, адже показник $K_z > 4,0$ – вода непридатна і її використання заборонено без необхідної підготовки[1].

Для розрахунку перевищення маси солей, а саме кількість її надходження до ґрунту у т/га, необхідно визначити зрошувальну норму (W), яка буде доцільною для досліджуваної місцевості, тобто кількісний обсяг води за один вегетаційний

сезон на 1 га. За ДСТУ 2730: 2015 та даних Інституту зрошувального землеробства НААН України, для ділянки річок Приазов'я, де переважає степова зона, зрошувальні норми для деяких сільськогосподарських культур будуть становити від 2500 до 7000 м³/га. Для зернових переважно це пшениця та ячмінь – 2500 – 3500 м³/га, для технічних де культури соняшник, кукурудза 3500 – 5000 м³/га, а вже для овочевих становить від 5000 до 7000 м³/га.

З огляду на специфіку ґрунтово-кліматичних умов, географічний регіон Приазов'я є традиційно сприятливим для високоефективного вирощування широкого спектра зернових та технічних культур. Однак протягом останнього періоду за даними довгострокових метеорологічних спостережень, систематизованих у таблиці 1.1, у регіоні зафіксовано стійку тенденцію до суттєвого підвищення середньорічних та сезонних температурних показників. Цей температурний стрибок зумовлює надзвичайно високу інтенсивність випаровування вологи з орного шару ґрунту, що викликає гостру потребу в штучному зрошенні для компенсації водного дефіциту.

Для проведення точних прогностичних та водобалансових розрахунків було застосовано науково обґрунтоване усереднене значення зрошувальної норми, яке становить 4500 м³/га (4500 м³/га). Використання саме цього об'єму є найбільш доцільним та репрезентативним для посушливих умов степової зони Приазов'я при культивуванні як технічних (соняшник, кукурудза), так і провідних зернових культур. На основі зазначеної меліоративної норми та фактичних гідрохімічних даних було виконано математичне моделювання сольового навантаження на агроландшафти. Таким чином, розрахунок ймовірного обсягу розчинних солей, що потраплятимуть у ґрунтовий профіль разом із поливною водою за один повний вегетаційний сезон, здійснюється за наступним алгоритмом і буде складати [20]:

$$Q_c = \frac{M \cdot W}{1\,000\,000}, \quad (2.2)$$

де Q_c – маса солей, що надходить до ґрунту, т/га;

M – мінералізація поливної води, мг/дм³;

W – зрошувальна норма, м³/га.

$$Q_c = \frac{6341,0 * 4500}{1\ 000\ 000} = 28,53 \text{ т/га.}$$

Тобто за один вегетаційний сезон у ґрунти Приазов'я надходить 28,53 т/га солей, при нормі накопичення не повинно бути більше ніж 3,0 т/га при мінералізації 800 мг/дм³, згідно розрахунку перевищення майже у 8 разів, що робить поливну воду критичною для використання. Висока ймовірність стрімкого розвитку таких деструктивних і небезпечних процесів, як інтенсивне вторинне засолення, солонцювання та прогресуюча деградація високородючих чорноземів, становить серйозну загрозу для екологічної безпеки Приазовського регіону. За умови відсутності спеціалізованих сучасних меліоративних заходів, а також за ігнорування технологій глибокого очищення, демінералізації та належної водопідготовки, наявні поверхневі джерела стануть абсолютно непридатними для використання в аграрному секторі вже через 1–2 роки регулярного поливу. Безконтрольне зрошення некондиційною солоною водою призведе до швидкого руйнування природної структури ґрунтового покриву, токсичного отруєння орного горизонту солями натрію та магнію, що в короткостроковій перспективі зумовить повну втрату біологічної продуктивності тутешніх агроландшафтів і занепад зрошувального землеробства на досліджуваних територіях.

2.3.2 Оцінка ризику солонцювання ґрунтів за показником натрієвої адсорбції SAR

Показник натрієвої адсорбції SAR – Sodium Adsorption Ratio має фундаментальне екологічне та агрономічне значення під час оцінювання якості природних вод, що використовуються для потреб меліорації. Хімічна суть цього індексу полягає у визначенні відносного ступеня небезпеки заміщення двовалентних катіонів кальцію та магнію в ґрунтовому поглинальному комплексі (ГПК) на одновалентні катіони натрію.

У разі значного перевищення встановлених нормативних меж показника SAR у поливній воді стрімко зростає ймовірність розвитку процесів солонцювання та слитизації ґрунтів. Накопичення надлишкового обмінного натрію призводить до пептизації ґрунтових колоїдів, руйнування водотривкої структури, запливання орного шару та різкого зниження водопроникності й аерації чорноземів, що робить їх непридатними для інтенсивного землеробства.

Відповідно до методологічних вимог Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (FAO) та положень національного стандарту України ДСТУ 2730:2015, математичний розрахунок даного гідрохімічного показника здійснюється на основі концентрацій еквівалентів іонів у розчині за такою стандартизованою формулою [1,20]:

$$SAR = Na / \sqrt{((Ca + Mg)/2)}, \quad (2.3)$$

де Na, Ca, Mg – концентрації катіонів натрію, кальцію, магнію у мг – екв/дм³;

Для підставлення значень необхідно провести перерахунок з мг/дм³ у мг-екв/дм³:

$$C_{\text{екв}} = C_{\text{мг}} / E, \quad (2.4)$$

де $C_{\text{екв}}$ – концентрація у мг-екв/дм³;

$C_{\text{мг}}$ – концентрація у мг/дм³;

E – еквівалентна маса іону, для $Na^+ = 23,0$ г/мг-екв, $Ca^{2+} = 20,0$ г/мг-екв, $Mg^{2+} = 12,2$ г/мг-екв.

За даними таблиці 2.1 концентрації катіонів = Na – 312,45 мг/дм³;

Ca – 488,976 мг/дм³; Mg – 255,36 мг/дм³.

$$Na = 312,45 / 23,0 = 13,58 \text{ мг-екв/дм}^3;$$

$$Ca = 488,976 / 20,0 = 24,45 \text{ мг-екв/дм}^3;$$

$$Mg = 255,36 / 12,2 = 20,93 \text{ мг-екв/дм}^3;$$

Після визначення концентрації Na, Ca, Mg у мг-екв/дм³, можемо розрахувати значення натрієвої адсорбції SAR:

$$SAR = 13,58 / \sqrt{((24,45 + 20,93)/2)} = 13,58 / \sqrt{22,69} = 13,58 / 4,76 = 2,85 \text{ мг-екв/дм}^3$$

Значення натрієвої адсорбції SAR = 2,85 мг-екв/дм³, показує, що концентрація має низький ризик, відповідно даним з управління БУВР, де по таблиці 2.1 показник SAR = 4,2 мг-екв/дм³, розбіжність у значеннях залежить від відбору проб води з різних ділянок, але що розрахований показник і показник з таблиці можливо віднести до середнього ризику при солонцюванню ґрунтів, адже до ДСТУ 2730: 2015 та FAO даний показник повинен бути під наглядом, постійним моніторингом і запровадженням необхідних заходів щодо зниження його критичної мінералізації.

2.3.3 Оцінка ризику за залишковим карбонатом натрію RSC

Перевищення показника карбонату натрію RSC, свідчить про ризик лужного погіршення ґрунтів, розрахунок проводиться[1,20]:

$$RSC = (HCO_3 + CO_3) - (Ca + Mg), \quad (2.5)$$

де HCO_3 – концентрація гідрокарбонатів, мг-екв/дм³;

CO_3 – концентрація карбонатів, мг-екв/дм³;

Ca, Mg – концентрації кальцію та магнію, мг-екв/дм³

Відповідно показник $pH = 8,12 < 8,5$, то карбонати CO_3 не приймають і він відповідає 0, адже концентрація менше ніж 1% і у розрахунки не вноситься [1].

За формулою 2.4 розрахуємо концентрацію HCO_3 , де еквівалентна маса = 61,0 г/мг-екв:

$$HCO_3 = 367,80 / 61,0 = 6,03 \text{ мг-екв/дм}^3;$$

Знаючи концентрацію HCO_3 та $Ca = 24,45$ мг-екв/дм³ $Mg = 20,93$ мг-екв/дм³, можливо розрахувати показник карбонату натрію RSC:

$$RSC = (6,03 + 0) - (24,45 + 20,93) = - 39,35 \text{ мг-екв/дм}^3.$$

Так як показник карбонату натрію RSC має від'ємне значення, тож можливо сказати, що кальцій та магній перевищує концентрацію гідрокарбонату і лужність мало вірогідна. Якщо при взаємодії з SO_4^{2-} де показник 1852,2 мг/дм³ (при нормі до 750 мг/дм³) у 2,5 разів перевищує норму з іншими катіонами може привести до негативного впливу для ґрунт через ризик прояву процесів сульфатного забруднення [15].

Зважаючи на критичні гідрохімічні показники та високі ризики, наведені у попередніх таблицях (де вода класифікується як обмежено придатна або непридатна), використання такої води у традиційному (поверхневому чи дощувальному) зрошенні є неможливим. Проте, саме краплинне зрошення (за умови впровадження обов'язкового комплексу водопідготовки) є єдиним практично життєздатним і раціональним методом залучення цих ресурсів в агровиробництво. Можливість та доцільність застосування краплинного поливу в умовах Приазов'я обґрунтовується низкою науково-виробничими аргументами.

Локальність зволоження та управління сольовим режимом. При класичному дощуванні мінералізована вода потрапляє на листя рослин (викликаючи опіки) та зрошує всю площу поля, що прискорює вторинне засолення. Краплинне зрошення подає воду безпосередньо в прикореневу зону (ризосферу). Завдяки постійному капілярному підтоку в зоні дії крапельниці формується так звана «зона вилуговування» (контур зволоження), де концентрація солей постійно підтримується на низькому рівні, оскільки солі витісняються на периферію цього контуру. Це дозволяє корінню рослин розвиватися в середовищі з відносно безпечним осмотичним тиском.

Можливість точного внесення хімічних меліорантів (фертигація). Висока небезпека солонцювання ($SAR = 4,2$) вимагають постійного внесення гіпсу чи кислот. Конструкція краплинних систем дозволяє реалізувати технологію фертигації - введення рідких хімічних меліорантів та макроелементів безпосередньо у водний потік. Дозоване додавання ортофосфорної чи азотної кислот безпосередньо під час поливу дозволяє штучно регулювати рН води

(знижувати лужність) безпосередньо перед її потраплянням у ґрунт, що нейтралізує негативний вплив на чорноземи.

Сумісність із локальними технологіями фільтрації. Високий вміст завислих речовин та біологічне забруднення $БСК_5 = 3,37$ загрожують функціонуванню систем. Проте саме краплинний комплекс дозволяє побудувати точкову систему захисту. На відміну від широкозахватних дощувальних машин, краплинний полив є капіталомісткою інженерною системою, яка обов'язково включає модульний фільтраційний табір (дискові, сітчасті та гравійно-піщані фільтри). Це дозволяє повністю нівелювати ризик «засмічення крапельниць», зафіксований у зоні середнього ризику, забезпечуючи механічну чистоту води безпосередньо на вході в систему.

Економічна доцільність інноваційної водопідготовки. Застосування зворотного осмосу чи електродіалізу для очищення мільйонів кубометрів води під звичайний полив є фінансово катастрофічним. Зрошувальна норма для краплинного поливу є значно нижчою порівняно з іншими методами за рахунок відсутності випаровування з міжрядь та відсутності знесення вітром (замість загальних екосистемних 4500 м³/га локальна норма споживання рослиною є значно меншою). Оскільки об'єм необхідної води скорочується, впровадження високих технологій водопідготовки (демінералізації) стає економічно рентабельним, оскільки очищувати доводиться меншу кількість води.

Мінімізація підйому підґрунтових вод. Екстенсивне поливання великими об'ємами (зона низького ризику в матриці) провокує підйом солоних підземних вод до орного горизонту. Краплинне зрошення забезпечує суворе дозування вологи відповідно до щоденного водоспоживання культури. Відсутність перезволоження та відсутність гравітаційного просочування води вглиб гарантують, що рівень залягання підземних мінералізованих вод залишатиметься незмінним, що повністю блокує класичний механізм підтоплення та глобального засолення Приазовського регіону.

Використання поверхневих вод Приазов'я для краплинного зрошення є не просто можливим, а єдино допустимим варіантом меліорації. Краплинна система

виступає не як звичайне знаряддя поливу, а як керований інженерно-хімічний бар'єр, який завдяки фільтрації, фертигації та локальності подачі перетворює обмежено придатну воду на ефективне джерело вологи, захищаючи чорноземи від передчасної деградації. Але застосування краплинного зрошення може мати деякі ризики (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Матриця ризиків при використанні вод річок Приазов'я для поливу

Ймовірність/ Наслідок	Висока (> 70%)	Середня (30-70%)	Низька (< 30%)
Критичний	Вторинне засолення чорноземів ($K_z = 6,34$); деградація аероекосистем за 1-3 роки	Повна непридатність річок для зрошення; втрата родючості понад 50%	Масштабне забруднення підземних вод
Значний	Солонцювання ґрунтів ($SAR = 4,2$); патогенне забруднення продукції ($BCK_5 = 3,37$)	Зниження врожайності на 30-50%; пошкодження крапельних систем	Короткострокове погіршення якості продукції
Помірний	Евтрофікація водойм; перевищення ХСК >2,0	Засмічення крапельниць; зниження врожайності до 30%	Тимчасові відхилення від нормативів

Представлена матриця ризиків є класичним інструментом стратегічного екологічного планування, який дозволяє класифікувати потенційні загрози для водних та земельних ресурсів Приазовського регіону за двома базовими критеріями: ймовірністю виникнення та ступенем важкості наслідків.

Головний аналітичний висновок полягає в тому, що екосистема Приазов'я (зокрема агросфера Запорізької області) перебуває під критичним і значним деструктивним тиском. Найбільш загрозливі чинники мають максимальну ймовірність реалізації (понад 70%), що вимагає негайного, радикального втручання з боку БУВР та впровадження жорстких меліоративних заходів підготовки води, оскільки бездіяльність призведе до незворотної деградації чорноземів у найближчі 1–3 роки.

Матриця ризиків чітко вказує на те, що традиційне зрошення «сирою» (неочищеною) водою з річок Приазов'я є екологічно неприпустимим.

Для нівелювання ризиків із зони високої ймовірності (засолення, солонцювання, евтрофікація) Басейновому управлінню та агровиробникам необхідно терміново змістити акцент на інтенсивні чинники управління:

1. Запровадження обов'язкового хімічного кондиціонування води (гіпсування) для зниження індексу SAR.
2. Встановлення систем триступеневої механічної та біологічної фільтрації для зниження показників ХСК, БСК5 та захисту систем крапельного поливу від засмічення.
3. Постійний моніторинг динаміки засолення орного шару з метою недопущення переходу ситуації в критичну фазу деградації (строком 1–3 роки).

2.3.4 Оцінка ризику для здоров'я людини при використанні забрудненої води

Потрапляння токсичних та забруднюючих сполук у компоненти агроecosистем становить серйозну загрозу як для навколишнього природного середовища в цілому, так і для здоров'я місцевого населення зокрема. Найбільша небезпека виникає при вживанні продуктів харчування, які були вирощені на зрошувальних площах, де гідрохімічні показники поливної води та вміст речовин у ґрунті суттєво перевищують встановлені нормативні значення. Акумуляція важких металів та інших поллютантів у сільськогосподарських культурах на таких ділянках безпосередньо впливає на трофічні ланцюги та безпеку життєдіяльності людини. Для кількісної оцінки потенційного неканцерогенного ризику для здоров'я людини, що виникає внаслідок надходження забруднюючих речовин із продуктами харчування, у міжнародній практиці екологічного та токсикологічного моніторингу використовується спеціальний методологічний інструмент - коефіцієнт небезпеки HQ (Hazard Quotient). Цей індекс відображає співвідношення між реальною дозою хімічної речовини, що надходить в організм, та її безпечним (референтним) рівнем впливу. Математичний розрахунок

інтегрального навантаження для основних досліджуваних речовин за даним показником здійснюється за наступною стандартизованою формулою:

$$HQ = \frac{C_{\text{факт}}}{C_{\text{норм}}}, \quad (2.6)$$

де $C_{\text{факт}}$ – фактична концентрація забруднювача у водах Приазов'я у мг/дм³;

$C_{\text{норм}}$ - нормативне значення для зрошення, тобто ГДК або ДСТУ чи FAO у мг/дм³;

При $HQ > 1$ – наявний ризик для населення;

При $HQ < 1$ – відсутній ризик для населення;

Основні речовини відповідно $C_{\text{факт}}$ та $C_{\text{норм}}$ розраховані і представлені у табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Оцінка ризику за показником небезпечності HQ забруднюючих речовин вод Приазов'я [15,20,21]

Показник	$C_{\text{факт}}$, мг/дм ³	$C_{\text{норм}}$, мг/дм ³	HQ	Оцінка ризику
Мінералізація	6341,0	1000	6,34	Критичний
Сульфати (SO_4)	1852,2	500	3,70	Високий
Хлориди (Cl)	439,617	350	1,26	Середній
Натрій (Na)	312,45	200	1,56	Середній
ХПК	60,0	30	2,00	Високий
БПК ₅	10,1	3	3,37	Високий

Згідно розрахунку, слід сказати, що жоден показник не відповідає нормативному значенню, адже $HQ > 1$. Даний факт може негативно впливати на загальну динаміку якості ґрунтів, культур і здоров'я населення.

На основі результатів лабораторних досліджень особливу екологічну тривогу викликає суттєве перевищення гранично допустимих нормативів за низкою ключових гідрохімічних параметрів. Зокрема, критичні рівні аномалії зафіксовано за показниками загальної мінералізації, коефіцієнт якої сягає солідної позначки $K_3 = 6,34$, а також за концентрацією сульфатів. Водночас високі індекси хімічного споживання кисню (ХСК) та біологічного споживання кисню БСК₅ = 3,37) безпосередньо свідчать про масштабне та прогресуюче органічне забруднення поверхневого стоку [15,19].

Такий незадовільний стан поливної води запускає небезпечний деструктивний ланцюг у довгостроковій перспективі. Використання некондиційної води без попереднього знезараження призводить до інтенсивного накопичення в ґрунтовому профілі патогенних мікроорганізмів та токсичних сполук. Під час вегетаційного періоду сільськогосподарські культури, що піддаються штучному зрошенню, абсорбують ці патогени та полютанти через кореневу систему або безпосередньо контактним шляхом під час поливу. У процесі подальшого вирощування та дозрівання відбувається транслокація (перенесення) і концентрування небезпечної мікрофлори безпосередньо у внутрішніх тканинах та плодах рослин. Як наслідок, це призводить до системного інфікування кінцевих продуктів харчування, створюючи прямі епідеміологічні ризики та загрозу спалахів гострих інфекційних захворювань серед споживачів [24,45].

2.3.5 Комплексна оцінка ризиків для навколишнього середовища

Для комплексної оцінки придатності води для різних галузей використовується спеціальний інтегральний показник екологічного стану, а саме це WQI – Water Quality Index, за допомогою нього можливо визначити відібрану воду за основними показниками [15,24]:

$$WQI = (\sum(w^i \cdot q^i)) / \sum w^i, \quad (2.7)$$

де w^i – вагові коефіцієнти кожного показника, що = 1;

q^i – відносне відхилення i -го показника від норми, де $HQ \cdot 100$;

Для розрахунку показника WQI, відібрано 6 основних речовин, які мають найбільший вплив, тож коефіцієнт $w^i = 1/6 = 0,167$; а q^i для кожної речовини – (мінералізації – 634, сульфати – 370, хлориди – 126, натрій – 156, ХПК – 200, БПК₅ – 337) табл.2.5.

$$\begin{aligned} WQI &= (0,167 \cdot (634 + 370 + 126 + 156 + 200 + 337)) / 1 = \\ &= 0,167 \cdot 1823 = 304,4. \end{aligned}$$

Таблиця 2.5 – Якість води відповідно до характеристик та придатності за показником WQI

Показник WQI	Якість води	Характеристика та придатність
< 50	Відмінна	Чиста вода, що придатна для усіх необхідних потреб, як для зрошення так і для пиття без необхідної обробки
50 – 100	Добра	Безпечна вода майже для усіх потребах, але впровадження підготовки, дає змогу використовувати в усіх потребах
100 – 200	Погана	Забруднена вода вже потрібна обов'язкова підготовка, для усіх потреб, використання для технічних потреб
200 – 300	Дуже погана	Дуже забруднена вода, критично важлива підготовка і необхідно глибоке очищення
> 300	Непридатна	Непридатна вода для будь-яких потреб, запровадження усіх можливих видів очистки та захист екосистеми і здоров'я населення від вживання даної води.

Відповідно до проведених розрахунків та отриманих значень спеціального інтегрального показника екологічного стану, досліджувана вода класифікується за найнижчою (критичною) категорією якості. Пряме використання цих водних ресурсів у їхньому природному стані є абсолютно неможливим, оскільки вони визнані повністю непридатними як для задоволення питних та господарсько-побутових потреб населення, так і для аграрного сектору. У зв'язку з цим науково обґрунтованою та практично доцільною є гостра необхідність впровадження комплексних багаторівневих видів очищення та обов'язкової попередньої технологічної підготовки. Реалізація цих заходів спрямована на радикальне зниження або повне усунення критичних ризиків перед подачею води у зрошувальні системи.

Узагальнюючи результати виконаних комплексних гідрохімічних розрахунків, можна констатувати, що природний стан вод басейну річок Приазов'я характеризується як глибоко деградаційний. Проте системне впровадження спеціальних водоохоронних та інженерних заходів — зокрема примусове очищення, демінералізація та зниження концентрації токсичних іонів на етапі попередньої підготовки — дозволить суттєво мінімізувати наявні екологічні

загрози. До найгостріших кризових чинників, що потребують негайного нівелювання, належать ризик вторинного засолення ґрунтів та акумуляція органічних і біологічних забруднювачів. Наразі коефіцієнт цієї загрози перебуває на екстремально високому рівні й становить $K_z = 6,34$. Інтенсивність акумуляції органічних і біологічних забруднювачів підтверджується незадовільним показником біохімічного споживання кисню, який дорівнює $БСК_5 = 3,37$.

Надмірне перевищення концентрації цих та багатьох інших супутніх хімічних сполук створює пряму й незворотну загрозу для стабільності навколишнього середовища. За відсутності термінового впровадження технологій меліоративної водопідготовки існує надзвичайно висока ймовірність повної деградації унікальних чорноземів та руйнування всієї приазовської агроєкосистеми вже у найближчі 1–3 роки інтенсивного господарювання.

2.4 Якість та оцінка придатності вод басейну для сільськогосподарських культур

Для успішного вирощування різноманітних сільськогосподарських культур відповідність якості поверхневих водних джерел екологічним стандартам має першорядне і фундаментальне значення [1,20]. Оскільки поверхневий стік є базовою основою для забезпечення систем штучного зрошення в аридних регіонах, його хімічний, іонний та макрокомпонентний склад безпосередньо визначає загальну біологічну продуктивність агроценозів, товарну якість майбутньої продукції, а також довгострокову екологічну стійкість агроєкосистем. Інтенсивність і характер впливу поливної води на процеси первинного або вторинного засолення ґрунтового профілю безпосередньо залежать від її гідрохімічних властивостей. Вода високої якості здатна підтримувати та навіть покращувати водно-фізичні й агрохімічні показники чорноземів, тоді як

використання некондиційних або високомінералізованих вод призводить до пригнічення росту рослин, блокування поживних речовин та деградації земель [21].

Відсутність належної попередньої підготовки, демінералізації та кондиціонування водних ресурсів призводить до того, що вони за своїми параметрами переходять у категорію обмежено придатних або повністю непридатних для питного водопостачання та меліорації. Саме така тривожна ситуація наразі спостерігається у межах басейну річок Приазов'я, де природні води характеризуються критичним рівнем засолення.

Відповідно до суворих вимог національного стандарту України ДСТУ 2730:2015 та міжнародних методологічних настанов Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (FAO), об'єктивна оцінка можливості залучення цих вод у зрошувальне землеробство, а також для задоволення питних потреб населення, має базуватися на комплексному аналізі ключових інтегральних показників. До переліку обов'язкових критеріїв оцінки належать загальна мінералізація (сухий залишок) та фактична солоність; питома електропровідність (ЕС), що відображає сумарну концентрацію розчинених солей; коефіцієнт натрієвої адсорбції (SAR) та індекс залишкового карбонату натрію (RSC), які вказують на ризик солонцювання; наявність та концентрація токсичних іонів (зокрема хлоридів, сульфатів і натрію); водневий показник (pH), що визначає кислотно-лужний баланс середовища.

Тільки через призму систематичного контролю цих параметрів можливе проектування ефективних систем водопідготовки для захисту чорноземів Приазов'я від передчасного виснаження.

Вплив обмежено придатної або непридатної води для сільськогосподарських культур: токсичний вплив солей, грибкові та бактеріальні захворювання, зниження стійкості культур та абіотичних стресів, неякісна сільськогосподарська продукція, погіршення стану агроєкосистем. Перевищення нормативів по концентрації іонів натрію та хлору, через що для рослин є порушення водного обміну, закриття просочування вод та зниження фотосинтезу. Найбільш чутливими при

перевищенні нормативів є овочеві культури такі як: томати, огірки, перець та салат, а також бобові і молоді садові насадження.

Розвиток патогенної мікрофлори є основою при використанні мінералізованої води, що є сприятливими умовами і є такі захворювання:

- цвіль
- фузаріоз
- бактеріальні інфекції
- кореневі гнилі.

Через підвищення вмісту солоності вразливість рослин при використанні її у зрошенні є більш вразливою для різних хвороб та шкідників.

При поливанні рослин де показники SAR та RSC перевищують норму є великий ризик посуха, засоленість та вплив високих температур, особливо це спостерігається в умовах населених пунктах Приазов'я, де з кожним роком динаміка посушливих періодів або збільшується температура або термін теплих днів є тривалішим [21].

Накопичення перевищеної норми солей у культурах і рослинах, може призводити до погіршеного смаку різних культур, малої кількості у складі вітамінів та накопичення нітратів.

Погіршення стану агроєкосистем через порушення процесів гумусоутворення, зниження біорізноманіття ґрунтової фауни та флори, зменшення обсягів дощових хробаків та інших мікроорганізмів, відсутність стійкої екологічної рівноваги в агроценозах.

Придатність вод басейну для основних культур які вирощуються на полях є [1,20]:

1. Для зернових культур необхідність мінералізації не повинно перевищувати 2000 мг/л;
2. Для овочевих культур основне запровадження у підготовці, в іншому випадку вони вже є непридатними;
3. Для технічних культур, які хоч і досить стійкими, але високий показник SAR може знизити врожайність;

4. Для багаторічних насаджень, які є досить чутливими, при використанні вод де показник SAR перевищує 6 мг-екв/л, є швидке пригнічення рослин.

Аналіз наведених матриць та узагальнена оцінка якості природних джерел свідчать, що у своєму природному (сирому) стані поверхневі води басейну річок Приазов'я є обмежено придатними або повністю непридатними для безпосередньої експлуатації. Їхнє використання без попереднього очищення несе критичну загрозу для унікального ґрунтового покриву регіону, оскільки провокує стрімке руйнування та солонцювату деградацію високородючих чорноземів. Проте зазначений деструктивний статус водних ресурсів не є остаточним вироком для економіки регіону. За умови інтеграції та практичного застосування спеціалізованих сучасних технологій інтенсивної водопідготовки, ці некондиційні водні маси можуть бути трансформовані у безпечне та високоякісне джерело вологи [15]. Впровадження таких інноваційних інженерних рішень, як зворотний осмос, електродіалізне опріснення, багаторівнева механічна фільтрація та реагентне кондиціонування (зокрема поточне гіпсування), дозволяє штучно оптимізувати гідрохімічні параметри. Це мінімізує вміст токсичних солей, знижує індекси SAR та RSC, завдяки чому підготовлена вода стає цілком безпечною та придатною як для задоволення суворих санітарно-гігієнічних потреб питного водопостачання населення, так і для технологічних вимог сучасного зрошувального землеробства [24,25].

2.5 Екологічні ризики та наслідки при використанні вод різної якості

Невідповідність якості поверхневих вод встановленим екологічним стандартам при їх залученні у зрошувальне землеробство становить вагому загрозу, що супроводжується серйозними екологічними та меліоративними ризиками [21]. Специфіка цих ризиків полягає в тому, що вони мають як короткостроковий, так і пролонгований характер: деякі негативні зміни проявляються вже через кілька

тижнів або місяців регулярного поливу, тоді як інші деградаційні процеси накопичуються приховано і стають помітними лише через роки інтенсивної експлуатації угідь. До базових наслідків, які чинять руйнівний деструктивний вплив на ґрунтовий архітектоніку, належать систематичне перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) загальної солоності, мінералізації, а також незадовільні значення коефіцієнта натрієвої адсорбції (SAR) та індексу залишкового карбонату натрію (RSC). Загальний масштаб антропогенної трансформації агроландшафту безпосередньо корелює з тривалістю та безперервністю використання некондиційного поверхневого стоку.

Згідно з меліоративними критеріями оцінки, показники екологічно безпечної та придатної для зрошення води повинні суворо відповідати наступним граничним нормативам: загальна мінералізація (сухий залишок) не більше ніж 1000 мг/дм^3 (або мг/л); коефіцієнт натрієвої адсорбції (SAR): не більше ніж 3 мг-екв/дм^3 ; залишковий карбонат натрію (RSC): не більше ніж $1,25 \text{ мг-екв/дм}^3$.

За умови дотримання цих нормативних параметрів сумарний антропогенний тиск на водні ресурси, ґрунтовий покрив та навколишні екосистеми зводиться до мінімальних значень. За своїми ключовими гідрохімічними характеристиками така вода наближається до стандартів чистих підземних водоносних горизонтів (артезіанських вод).

Використання високоякісної води, яка під час проведення регулярного моніторингу демонструє виключно позитивні характеристики, є головною запорукою сталого розвитку регіону. Вона забезпечує надійне підтримання природної родючості чорноземів, гарантує стабільність мікробіоценозів, сприяє збереженню біорізноманіття під час вегетації культурних рослин та гармонізує екологічний стан усього навколишнього агроландшафту.

Показники якості більшості річок Приазовського басейну наразі не відповідають установленим нормативно-екологічним стандартам. Через високий рівень токсичності та мінералізації ці водні ресурси класифікуються як обмежено придатні або повністю непридатні як для меліоративних заходів, так і для господарсько-питного споживання населенням прилеглих населених пунктів.

Експлуатація некондиційного поверхневого стоку запускає низку деструктивних екологічних процесів та супроводжується наступними критичними ризиками.

Активізація ерозійних процесів. Порушення цілісності та стабільності ґрунтового покриву суттєво загострюється під впливом глобальних та регіональних кліматичних змін. Ця негативна тенденція простежується практично в усі пори року: аномальні зливи, паводки та весняні повені зумовлюють інтенсивну водну ерозію (змив родючого шару), тоді як тривалі посухи, критично високі температури та сильні вітри в літньо-осінній період призводять до масштабної вітрової ерозії (дефляції) [18,48].

Забруднення та деградація підземних водоносних горизонтів. Регулярне й надмірне зрошення угідь водою з підвищеним вмістом солей призводить до гравітаційного просочування мінералізованих розчинів у нижні шари ґрунтового профілю. Це стає ключовим чинником довгострокового накопичення шкідливих аніонів та катіонів у підземних водах. Ситуація є критичною, оскільки місцеве населення масово використовує ці ж підземні джерела через колодязі та свердловини для питних потреб і приватного поливу, наражаючись на небезпеку хронічної інтоксикації [22].

Прогресуюче вторинне засолення ґрунтів. При тривалому використанні для штучного поливу води з рівнем мінералізації в межах 1500-2000 мг/дм³ відбувається інтенсивне випаровування вологи з орного горизонту, що спричиняє акумуляцію легкорозчинних солей у верхніх шарах ґрунту. Систематичне зрошення такими водами дезорганізує природний водний режим, пригнічує загальну продуктивність рослин та різко підвищує осмотичний тиск ґрунтового розчину, що блокує здатність кореневої системи всмоктувати вологу. Через специфіку географічного розташування Приазов'я, де переважають чорноземи, та за повної відсутності капіталомістких промивних поливів, ці процеси відбуваються прискореними темпами. За таких умов уже через 3–5 років регулярної експлуатації землі можуть повністю втратити свій агрономічний потенціал [20].

Інтенсивне солонцювання ґрунтового покриву. При фіксації високих значень коефіцієнта натрієвої адсорбції $SAR > 6 - 9$ мг – екв/дм³ запускається

небезпечний процес, за якого природні двовалентні катіони кальцію Ca^{2+} та магнію Mg^{2+} у ґрунтовому поглинальному комплексі (ГПК) заміщуються на одновалентний катіон натрію Na^{2+} . Унаслідок зростання солоневатості ґрунт набуває надмірної щільності й у сухому стані перетворюється на монолітні глибокі брили. Це різко знижує водопроникність, фільтраційну здатність та аерацію (повітрообмін) орного шару. Розвиток солонцюватості автоматично посилює ризики водної ерозії, унеможливорює нормальний розвиток кореневої системи культур і критично обмежує варіанти використання земель [1,20].

Комплексна деградація ґрунту та стрімке зниження родючості. Тривале накопичення в орному горизонті значних обсягів токсичних іонів натрію Na^{2+} та хлору Cl — чинить гніючий вплив на процеси гумусоутворення (гуміфікації) та пригнічує природну мікробіологічну активність ґрунтової біоти. У довгостроковій перспективі це руйнує органічну матрицю, призводить до дегумусизації агроландшафтів (падіння відсотка гумусу), катастрофічно погіршує фізико-хімічні властивості ґрунту та зумовлює практично повну втрату його економічної й біологічної продуктивності [21].

Інтегральний вплив зазначених антропогенних та природних чинників може мати як прямий деструктивний, так і локальний регуляторний характер для різних компонентів довкілля. Детальний просторово-екологічний розподіл цих взаємозв'язків та їх кількісна оцінка наочно представлені в табл. 2.6 за допомогою адаптованої Матриці Леопольда.

Представлена Матриця Леопольда наочно ілюструє кардинальну зміну вектора впливу на довкілля Приазов'я залежно від обраного типу господарської діяльності. Головний аналітичний висновок полягає в тому, що традиційні (екстенсивні) методи зрошення мають суцільний деструктивний характер (" - "), тоді як інтенсивні технологічні заходи та хімічна меліорація демонструють абсолютно позитивний ефект (" + ") для більшості компонентів екосистеми.

Таблиця 2.6 - Матриця Леопольда [24,25]

Дія / Компонент довкілля	Поверхнєве зрошення	Дощування	Крапельне зрошення	Зворотній осмос	Гіпсування	Промивні поливи
Якість ґрунтів	-	-	+	+	+	+
Якість поверхневих вод	-	-	+	+	+	+
Флора та фауна	-	-	+	+	+	+
Ризик засолення ґрунтів	-	-	+	+	+	+
Атмосферне повітря	-	+	+	-	+	+
Здоров'я населення	-	-	+	+	+	-

Примітка «+» - позитивний вплив, «-» - негативний вплив

Матриця чітко підтверджує, що сталий розвиток регіону та захист чорноземів від деградації можливі лише за умови повної відмови від сирого поверхневого поливу та переходу на комплекс: «Крапельне зрошення + Зворотний осмос + Гіпсування + Промивні поливи» [21,45].

Матриця Леопольда є науковим обґрунтуванням того, що експлуатація водних ресурсів Приазов'я без попередньої підготовки є екологічним злочином проти ґрунтового покриву.

Для зведення екологічних ризиків до нуля, меліоративні системи мають впроваджуватися як єдиний замкнений цикл: сира річкова вода проходить демінералізацію (зворотний осмос); очищена вода подається виключно локально (крапельне зрошення); для профілактики та ліквідації вже наявних солонців у ґрунт регулярно вноситься кальцій (гіпсування), а залишки солей витісняються під моніторингом БУВР (промивні поливи).

3 ОБГРУНТОВАНЕ ВИКОРИСТАННЯ ТА ПІДГОТОВКА ПОВЕРХНЕВИХ ВОД ДО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПОЛИВУ ДЛЯ ЗРОШУВАЛЬНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА

3.1 Сучасні технології зрошення в умовах регіону Приазов'я

Для регіону Приазов'я необхідність наявності і впровадження сучасніших технологій зрошення є досить важливим. Причина полягає в тому, що ця місцевість є досить характерною для вирощування сільськогосподарських культур, однак тут спостерігається посушливий клімат через низьку кількість води та високі температурні показники. Крім того, розподіл атмосферних опадів є нерівномірним: на одних ділянках спостерігається їх перевищення, тоді як на інших ділянках опади майже не фіксуються або взагалі відсутні. У літній період можна спостерігати щорічне підвищення температури та збільшення тривалості теплих днів за сезон. Особливо показовим це є у вегетаційний період. Саме через це недостатня кількість води негативно впливає як на сільськогосподарські культури так і на населення прилеглих територій поряд з річками Приазов'я [21,45].

У період, коли відбуваються процеси зміни клімату, можна спостерігати додаткові фактори, які ускладнюють ситуацію. Зокрема, фіксується підвищена мінералізація води та виникає ймовірність вторинного засолення ґрунтів після первинного засолення, зумовленого природними умовами зміни клімату. Вибір технології для зрошуваного землеробства є досить важливим, оскільки він безпосередньо впливає на ефективність вирощування культур, використання вод для інших потреб, стійкість та родючості ґрунтів в сучасних умовах [21,45,48].

Ключовими технологіями по зрошенні у сучасному світі є: поверхневе зрошення, дощування та крапельне (локальне) зрошення.

Поверхневе зрошення використовується досить довгий час для території Приазов'я, оскільки воно є простим та доступним. Однак у сучасному світі та при

зміні клімату ця технологія має досить негативним вплив через свої значні втрати води. Близько 40-60% води не доходить до кореневої системи, а висихає на поверхні чи у верхніх шарах ґрунту через високі температури та фільтрацію. Це є основним чинником розвитку вторинного засолення ґрунтів. Крім того, зволоження відбувається нерівномірно, що особливо критично при використанні води без попередньої підготовки та очистки з річок басейну Приазов'я [22,45,50,51].

Дощування забезпечує більш рівномірний розподіл води по площі завдяки використанню спеціальних дощувальних установок, основними з яких є: «Фрегат», ДДА-100МА», а також стаціонарні системи [45]. Цей метод є більш ефективним порівняно з поверхневим зрошенням, оскільки краще впливає на рослини та раціональніше використовує воду. Однак через підвищену температуру, сильні пориви вітру та низьку водність річок Приазов'я виникають негативні явища: утворення ґрунтових кірок на поверхні, втрати дощувальної води на випаровування. Крім того, використання води з перевищенням мінералізації негативно впливає як на листя рослин, так і на кореневу систему, а також на якість сільськогосподарських культур [21,48].

Крапельне зрошення є найбільш перспективним і правильно підібраним для умов, у яких зараз перебуває Приазов'я. При цьому методі вода надходить безпосередньо в кореневу зону, що є досить позитивним, оскільки не перевищується необхідна доза води, забезпечується постійне підживлення невеликою кількістю води. Це, у свою чергу, мінімізує втрати на випаровування та фільтрацію. У кінцевому результаті отримується стійкі рослини, якісний врожай, а також досягається зниження або навіть мінімізація мінералізації води, яка використовується на зрошення в майбутньому.

Крапельне зрошення має такі переваги [20,21,45,50,51]: мінімальний ризик засолення ґрунтів через локальне зволоження; можливість синхронізації з іншими автоматизованими системами управління; зменшення витрат води приблизно 50% порівняно з іншими методами; можливість фертигації - внесення необхідних доз мінеральних добрив разом з водою безпосередньо в кореневу зону. Використання

на полях крапельного поливу є досить позитивним для вирощування різних сільськогосподарських культур, винограду та плодових насаджень. Однак необхідно впроваджувати заходи з підготовки поливної води, оскільки при тривалому використанні крапельного зрошення без очищення крапельниці засмічуються. Це може негативно вплинути на культури: у ґрунті може підвищуватись мінералізація та накопичуватися завислі речовини.

До сучасних систем зрошувального землеробства також належить підґрунтове зрошення (субіригаційне). При цьому методі вода надходить переважно до кореневої системи, через спеціально прокладені системи трубопроводів. Цей метод також демонструє позитивну динаміку, подібну до крапельного зрошення: зменшення для ризику засолення та втрат води для поверхневих та інших горизонтів ґрунту.

У сучасному досвіді та перспективі майбутнього доцільним є впровадження автоматизованих систем зрошення, таких як: датчики для визначення вологості ґрунту, встановлення стаціонарних або мобільних метеорологічних станцій, забезпечення ділянок програмним забезпеченням. Це забезпечує позитивний вплив на технології вирощування рослин, овочевих культур, виноградів та плодових насаджень в умовах зміни клімату, яка відбувається щороку. Оптимізація є необхідною, особливо для місцевості Приазов'я де спостерігається висока нестабільність як температурних показників так і водного балансу.

Басейнове управління водних ресурсів (БУВР) річок Приазов'я відповідає за ефективне використання та загальний моніторинг стану водних об'єктів. Управління запроваджує необхідні дії та заходи для технологій по зрошенню землеробства, оскільки річки Приазов'я є досить впливовими для використання їх як у сільськогосподарському виробництві, так і для потреб населення. БУВР надає необхідні рекомендації щодо раціонального використання водних ресурсів [15,24].

Різні технології зрошення мають як високу, так і низьку ефективність та перспективність у майбутньому. Це можна побачити на табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Матриця БКГ по ефективності та перспективності технологій зрошення для Приазов'я [45,51]

Ефективність Перспективність	Висока ефективність водокористування	Низька ефективність водокористування
Висока перспективність в умовах зміни клімату	«ЗІРКИ»: 1.Крапельне зрошення + зворотній осмос; 2.Автоматизовані системи на основі датчиків; 3.Високі витрати, але маємо максимальний екологічний ефект	«ЗНАКИ ПИТАННЯ»: 1.Підгрунтове (субірригаційне зрошення); 2.Електродіаліз як альтернатива; 3.Перспективні, але потребують адаптації
Низька перспективність в умовах зміни клімату	«ДІЙНІ КОРОВИ»: 1.Крапельне зрошення без попередньої підготовки; 2.Механічна фільтрація + промивні поливи; 3.Стабільний ефект при помірних витратах	«СОБАКИ»: 1.Поверхнєве зрошення; 2.Дощування з незахищеної річки; 3.Втрати 40-60%, ризик засолення

3.2 Використання сучасних технологій для покращення якості поливної води

Запровадження сучасних технологій є необхідним для регіону Приазов'я. Причина полягає в тому, що ця місцевість має перевищення за всіма показниками, а якість води є непридатною для користування в різних галузях. Отже, необхідно зменшити концентрацію забруднювальних речовин до нижчих показників, а саме знизити перевищення концентрацій до норматив ДСТУ 2730: 2015, FAO та ГДК для всіх органічних речовин та розчинних солей. Це зробить використання вод Приазов'я придатним до ґрунтів, рослин і населення завдяки попередньої підготовки [1,20,24,25,35].

До основних сучасних і вагомих технологій належать: зворотний осмос, електродіаліз, іонний обмін, коагуляція, флокуляція та відстоювання.

Зворотний осмос на сьогодні є досить ефективним, хоча й витратним через значну вартість обладнання. Саме він зменшує показники високої мінералізації за допомогою глибокого знесолення завдяки своїй мембранній технології [25].

Принцип роботи зворотного осмосу полягає в тому, що вода під тиском пропускається через напівпроникну мембрану. У результаті затримуються іони солей, молекули мікроорганізмів та органічних речовин, а на виході отримується чиста вода, яку можна використовувати для різних галузей та потреб [24,35].

Відповідно до сталого та цільового розвитку у сучасності, що є стратегічним орієнтиром за Р.Омає для управління БУВР річок Приазов'я, що можна навести таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Стратегічні орієнтири за Р.Омає для БУВР річок Приазов'я

Стратегічний вимір	На період 2020-2025	На період 2025-2030
Корпоративний (Держава)	Відсутність фінансування сучасних технологій; Частина басейну недоступна через окупацію	Державна програма реконструкції зрошувальних систем; Виділення коштів з ЄС
Бізнес (Аграрії)	Використання застарілих методів поливу; Ігнорування якості води	Перехід фермерів на крапельне зрошення; Економія 30-50% водних ресурсів
Функціональний (БУВР)	Моніторинг обмежених ділянками; Відсутність цифрових інструментів	GIS-платформа моніторингу; Автоматизований збір даних про якість вод
Споживачі (Населення)	Використання непридатної або обмежено придатної води; Відсутність альтернатив	Доступ до очищеної питної води; Якісна сільськогосподарська продукція без засолення

Ефективність затримання солей напівпроникною мембраною ($R = \%$) визначається за формулою (3.1) [24]:

$$R = (1 - C_{\text{перм}} / C_{\text{вхід}}) \cdot 100 \%, \quad (3.1)$$

де $C_{\text{перм}}$ – концентрація солей у пермеаті (очищеній воді), мг/дм³;

$C_{\text{вхід}}$ – концентрація солей у вхідній воді (до очищення), мг/дм³;

У сучасній практиці підготовки води для зрошення і інших потреб населення використовують RO-мембрани типу FilmTec BW30 або ж аналогічне

мембрани TORAY (Японія). Як правило, затримання становить у середньому від 96 до 99%. Найбільш типовим є значення $R = 97\%$, яке є оптимальним для солонуватої води. Тоді мінералізація пермеату становитиме [24,25]:

$$C_{\text{перм}} = C_{\text{вихід}} \cdot \left(1 - \frac{R}{100}\right) = 6431,0 \cdot \left(1 - \frac{97}{100}\right) = 6341,0 \cdot 0,03 = 190,2 \text{ мг/дм}^3.$$

Отримане значення $C_{\text{перм}} = 190,2 \text{ мг/дм}^3$, значно нижче за норматив 1000 мг/дм^3 . Відповідно до норм ДСТУ 2730:2015, показник мінералізації $< 1000 \text{ мг/дм}^3$ є прийнятим. Отже, впровадження зворотного осмосу для регіону Приазов'я є досить ефективним і має позитивну динаміку для сучасного стану вод. При мінералізації вихідної води понад $< 5000 \text{ мг/дм}^3$, потрібне запровадження зворотного осмосу з більшим робочим тиском (25-40 бар), що в свою чергу, робить метод більш енерговитратним і потребує спеціального насосного обладнання. Енергоспоживання за такої мінералізація складає від 3,5 до 5,0 кВт · год/м³.

Суттєвим обмеженням зворотного осмосу є утворення концентрату - відхідного розчину з підвищеним вмістом солей. Коефіцієнт відновлення дорівнює 75%, що є типовим значенням для рівня мінералізації. Концентрація солей у концентраті визначається за формулою (3.2) [24]:

$$C_{\text{конц}} = C_{\text{вихід}} (1 - Y \cdot (1 - R/100)) / (1 - Y), \quad (3.2)$$

$$C_{\text{конц}} = 6341,0 \cdot (1 - 0,75 \cdot 0,03) / (1 - 0,75) = 24\,790 \text{ мг/дм}^3.$$

Концентрат зі вмістом солей $24\,790 \text{ мг/дм}^3$ потребує спеціального поводження. Як правило, це відведення у накопичувачі або подальше випаровування. Для відкритого регіону річок Приазов'я, зокрема степової зони і чорноземів, це є екологічним обмеженням використання RO-технології, яке необхідно враховувати під час проєктування основних установок [25].

Електродіаліз є альтернативною мембранною технологією знесолення. Ключовою відмінністю є перенесення іонів солей через спеціальні іонообмінні

мембрани за допомогою постійного електричного поля [35,38]. Якщо порівнювати зворотній осмос та електродіаліз, то другий метод не потребує високого тиску, менш чутливий до завислих речовин, а також має майже такий самий коефіцієнт відновлення води (в межах від 90 до 95%) [35].

Питома витрата електроенергії при електродіалізованому знесоленні визначається за формулою (3.3) [35,38]:

$$W_{\text{ед}} = k \cdot \Delta C \cdot U, \quad (3.3)$$

де $W_{\text{ед}}$ – питома витрата електроенергії, кВт · год/м³;

k – коефіцієнт, що залежить від конструкції стека ($k = 0,5 - 0,8$ кВт · год/м³ · г/л);

ΔC – різниця мінералізації між вихідною та очищеною водою, г/л;

U – напруга на стеку (1 – 2 В на пару мембран).

M – 6,34 г/л;

$$\Delta C = 6,34 - 1,0 = 5,34 \text{ г/л};$$

$$W_{\text{ед}} = 0,6 \cdot 5,34 \cdot 1 = 3,2 \text{ кВт} \cdot \text{год/м}^3.$$

Метод іонного обміну необхідний для пом'якшення води, а саме видалення іонів Ca^{2+} та Mg^{2+} , які утворюють накип на стінках зрошувальних систем і підвищують жорсткість ґрунтів. Іонні смоли замінюються катіони кальцію та магнію на іони натрію [25,35].

Розрахунок жорсткості вихідної води [1,20]:

$$Ж_{\text{заг}} = Ca + Mg, \quad (3.4)$$

$$Ж_{\text{заг}} = 24,45 + 20,93 = 45,38 \text{ мг-екв/дм}^3 = 22,69^\circ\text{Ж}$$

де $1 \text{ мг-екв/дм}^3 = 0,5^\circ\text{Ж}$; Відповідно $22,69^\circ\text{Ж}$ відноситься до дуже жорсткої води, тоді як норма для питному вживання становить $7,0^\circ\text{Ж}$, а для зрошення - $10,0^\circ\text{Ж}$ [1,20].

Іонний обмін зробить воду менш жорсткою та знизить ризик утворення накипу у капельних емітерах, а також сприятиме загальному покращенню

агрохімічного балансу ґрунту. Однак для зниження мінералізації необхідно запровадити ще ряд спеціальних заходів з очищення.

Для зниження каламутності, великого обсягу органічних сполук та завислих речовин важливим аспектом є очищення перед мембранною обробкою. Тому впровадження коагуляційно-флокуляційної обробки є ключовим етапом перед вищезазначеними методами очищення [24,25].

Доза коагулянту (наприклад $Al_2(SO_4)_3$) визначається за формулою (3.5) [24]:

$$D_k = a + b \cdot T, \quad (3.5)$$

де D_k – доза коагулянту, мг/дм³;

T – каламутність вихідної води;

a та b – емпіричні коефіцієнти ($a = 20$, $b = 0,5$ для степових річок України);

$$D_k = 20 + 0,5 \cdot 21,4 = 30,7 \text{ мг/дм}^3$$

Доза коагулянту - 30,7 мг/дм³ є досить помірною і технологічно прийнятною.

Коагуляційна обробка дозволяє знизити показник ХПК на 40-60% та каламутність - до 1-2 НОМ. Це є важливим перед подачею води на мембранні установки на території Приазов'я, оскільки забруднення мембран може призвести до їх передчасного виходу з ладу [24,25].

Відповідно до вищезазначених технологій наведено порівняльну характеристику вибору оптимальної схеми (табл. 3.3).

Враховуючи високий показник мінералізації для вод Приазов'я (6341 мг/дм³), перевищення таких показників, як ХПК та БПК₅, а також необхідність діяти вже зараз аби збереження чорноземів у якісному стані та можливості їх використання у різних галузях, доцільним є впровадження декількох або поетапних схем підготовки вод для зрошення та інших потреб.

Таблиця 3.3 – Порівняльна характеристика технологій підготовки поливної води для умов Приазов'я

Критерій	Зворотний осмос	Електродіаліз	Іонний обмін	Коагуляція / флокуляція	Крапельне зрошення + змішування
Ефективність знесолення	96 – 99 %	70 – 90 %	Пом'якшення	Не знесолює	Розбавлення
Витрата ел.енергії, кВт · год/м ³	3,5 – 5,0	3,2	0,1 – 0,3	0,05 – 0,1	0,3 – 0,8
Придатність для М > 5 г/л	Так	Так	Ні	Ні	частково
Видалення органіки (ХПК, БПК ₅)	90 – 99 %	30 – 50 %	Відсутнє	40 – 60 %	Відсутнє
Рекомендації для Приазов'я	Основна технологія	Альтернативна	Доповнення	Попередній	Часткове

Наприклад: запровадження коагуляції та флокуляції для видалення завислих речовин та інших органічних часток; захист мембран від забруднення за допомогою ультрафільтрації або мікрофільтрації; як закріплювальний етап – зворотній осмос, який забезпечить знесолення; після цих дій - впровадження пост-мінералізації для коригування оптимального складу для рослин до рівня 300 – 600 мг/дм³ шляхом дозованого змішування з вихідною водою.

3.3 Інженерно-технологічні рішення для безпечного та оптимального використання поверхневих вод

Запровадження інженерно-технологічних рішень для вод басейну річок Приазов'я є досить важливим і необхідним для зниження рівня мінералізації і показників SAR, RSC, ХПК та БПК₅. Саме ці заходи зроблять воду придатною і можливою для використання в різних галузях. На сучасному етапі жодна річка Приазов'я не відповідає нормативам, тому її неможливо використовувати для

зрошення без проведення попередньої підготовки. Усі заходи спрямовані на зниження солонцювання, запобігання вторинному засоленню, захист ґрунтів, а також на забезпечення можливості використання води управлінням для проведення та підтримання безпечного та оптимального стану за допомогою певних заходів і досліджень: відбору проб, моніторингу, лабораторних дослідження тощо.

У підготовці поливної води для певних заходів, необхідно застосувати ступеневу схему, яка включає обов'язкові етапи (рис. 3.1) [1,24,25,35].

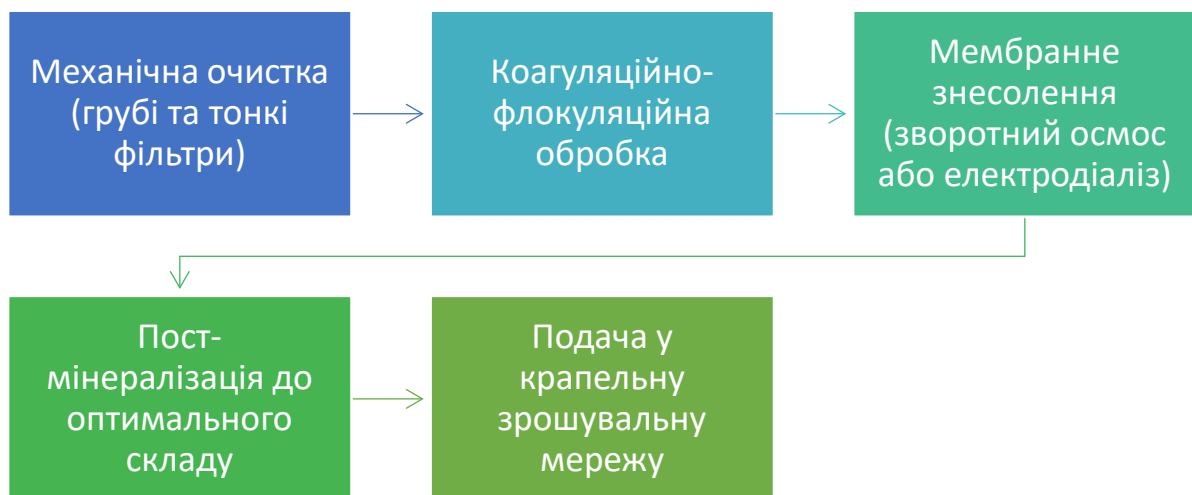


Рисунок 3.1 – Ступенева схема водопідготовки поливної води для крапельного зрошення

Розрахунок потреби у підготовленій поливній воді. Для визначення продуктивності водопідготовчої установки необхідно розрахувати добову та годинну потребу у підготовленій поливній воді.

Загальна добова потреба у поливній воді ($Q_{\text{доб}}$) для зрошувальної ділянки визначається за формулою (3.6) [21,45]:

$$Q_{\text{доб}} = \frac{(W * F)}{T}, \quad (3.6)$$

де W – зрошувальна норма (приймаємо середнє значення $4500 \text{ м}^3/\text{га}$, що є оптимальним для умов Приазов'я);

F – площа зрошуваної ділянки, (приймаємо 50 га, що є типовою для вирощування і використання ґрунтів для зрошення у фермерському господарстві регіону);

T – тривалість поливного сезону, діб (приймаємо 120 діб, з квітня по серпень).

$$Q_{\text{доб}} = \frac{(4500 * 50)}{120} = 1875 \text{ м}^3/\text{добу}$$

Продуктивність водопідготовчої установки ($Q_{\text{уст}}$) з урахуванням коефіцієнта нерівномірності водоспоживання ($K_{\eta} = 1,2$) та відновлення зворотного осмосу ($\eta = 75\%$) становить [24]:

$$Q_{\text{уст}} = \frac{(Q_{\text{доб}} * K_{\eta})}{\eta}, \quad (3.7)$$

$$Q_{\text{уст}} = \frac{(1875 * 1,2)}{0,75} = 3000 \text{ м}^3/\text{добу}$$

Годинна продуктивність установки при 20-годинному робочому циклі на добу [24]:

$$Q_{\text{год}} = \frac{Q_{\text{уст}}}{t}, \quad (3.8)$$

$$Q_{\text{год}} = \frac{3000}{20} = 150 \text{ м}^3/\text{год}$$

Для поливу площі 50 га необхідна водопідготовча установка з продуктивністю близько 150 м³/год, що є типовим значенням для промислового модуля зворотного осмосу BW30 – 400. Ці значення є доцільними, відповідають нормам і дозволяють задовольнити добову потребу у поливній воді з урахуванням технологічних витрат на концентрат та промивку мембран.

Наступним заходом, який є досить важливим, слід відзначити пост-мінералізація. Вона є економічно доцільною і сучасною для нормування змішування вихідної води з очищеним пермеатом зворотного осмосу при використанні крапельного поливу для сільськогосподарських культур.

Для досягнення мінералізації води на рівні 500 мг/дм³, що позитивно впливає на сільськогосподарські культури і на загальну динаміку використання води в різних сферах [24,25], визначається частка вихідної води (α), котру

необхідно додати до пермеату для балансу мас. Очищений пермеат ($C_{\text{перм}}$) = 190,2 мг/дм³, мінералізація вихідної річкової води ($C_{\text{вихід}}$) = 6341,0 мг/дм³ [24].

Визначення цільової мінералізації суміші:

$$C_{\text{ц.м.с}} = (1 - \alpha) * C_{\text{вихід}} + \alpha * C_{\text{перм}}, \quad (3.9)$$

де $C_{\text{ц.м.с}}$ – цільова мінералізація суміші, мг/дм³;

α – частка річкової води у суміші (від 0 до 1).

Для визначення (α) використовується формула [24]:

$$\alpha = (C_{\text{мін}} - C_{\text{перм}}) / (C_{\text{вихід}} - C_{\text{перм}}), \quad (3.10)$$

$$\alpha = (500 - 190,2) / (6341,0 - 190,2) = 0,050$$

Знаючи значення α , можна визначити цільову мінералізацію суміші [24]:

$$C_{\text{ц.м.с}} = (1 - 0,050) * 6341,0 + 0,050 * 190,2 = 6033,46 \text{ мг/дм}^3$$

Різниця між цільовою мінералізацією суміші ($C_{\text{ц.м.с}}$) та мінералізацією вихідної річкової води ($C_{\text{вихід}}$) у відсотковому співвідношенні:

$$C_{\text{різ.}} = \frac{C_{\text{ц.м.с}} * 100}{C_{\text{вихід}}}, \quad (3.11)$$

$$C_{\text{різ.}} = \frac{6033,46 * 100}{6341,0} = 95 \%, \text{ відповідно на } 5\%$$

Отже, для отримання поливної води з мінералізацією 500 мг/дм³ необхідно змішати 95% пермеату зворотного осмосу з 5% вихідної річкової води. Ця технологія дозволяє зменшити енергоспоживання установки, оскільки витрати електроенергії скорочуються. Така вода може відповідати 1-му класу придатності згідно з нормами ДСТУ 2730: 2015.

Наступним обов'язковим заходом для очищення та використання води для населення Приазов'я є гіпсування при хімічній меліорації ґрунтів. Розрахований показник SAR поверхневих вод дорівнює 4,2 мг-екв/дм³, що відповідає

середньому ризику солонцювання. Розрахунок необхідної кількості гіпсу на 1 га виконується за формулою (3.12) [15,20]:

$$D_{\text{н.г}} = 0,086 \cdot (Na_{\text{факт}} - Na_{\text{доп}}) \cdot h \cdot \rho, \quad (3.12)$$

де 0,086 – коефіцієнт перерахунку (еквівалентна маса $CaSO_4 \cdot 2H_2O = 86$ г/мг-екв);

$Na_{\text{факт}}$ – фактичний вміст обмінного натрію у ґрунті (12%);

$Na_{\text{доп}}$ – допустимий вміст обмінного натрію у ґрунті (5 %);

h - глибина меліоративного шару ґрунту (0,3 м);

ρ – щільність ґрунту для чорноземів Приазов'я ($1,35 \text{ г/см}^3 = 1350 \text{ кг/м}^3$).

$$D_{\text{н.г}} = 0,086 \cdot (12 - 5) \cdot 0,3 \cdot 1350 = 243,8 \text{ кг/га або } 2,44 \text{ т/га.}$$

Цю кількість гіпсу вносять один раз на 3-4 роки. Такої дози достатньою для заміщення обмінного натрію на кальцій. Це, в свою чергу, відновлює водопроникність, робить чорнозем більш структурним, знижує рН до нейтрального показника. Ці процеси мають позитивну динаміку для агрохімічних заходів на фермерських господарствах. Як наслідок, врожайність підвищується на 15-25% на території Приазов'я [20,21].

Ще однією важливою особливістю є промивна норма для розсолення ґрунтів. Оскільки в ґрунт надходить 28,53 т/га солей лише за один вегетаційний сезон, впровадження цього заходу має суттєво покращити стан ґрунтів. Щорічні промивки поливи сприяють вилученню накопиченої кількості солей із кореневого шару.

Розрахунок зниження вмісту солей у ґрунті до допустимого рівня за допомогою промивної норми визначається за формулою (3.13) [24,25]:

$$W_{\text{пром.норма}} = (S_{\text{факт}} - S_{\text{доп}}) \cdot h \cdot \rho / S_{\text{сер.конц.}}, \quad (3.13)$$

де $S_{\text{факт}}$ – фактичний вміст солей у ґрунті (%);

$S_{\text{доп}}$ – допустимий вміст солей для чорнозему (0,15%);

h - глибина промивного шару (0,6 м);

ρ – щільність ґрунту (1350 кг/м³);

$S_{\text{сер.конц.}}$ – середня концентрація солей у дренажних водах (8 г/л = 0,8%);

Для розрахунку промивної норми необхідно визначити фактичний вміст солей у ґрунті після одного сезону зрошення неочищеною водою $S_{\text{факт}}$ з урахуванням надходження солей $Q_{\text{надх.солей}} = 28,53$ т/га та маси ґрунту в шарі від 0 до 0,6 м[20]:

$$S_{\text{факт}} = Q_{\text{надх.солей}} / (h \cdot \rho \cdot 10), \quad (3.14)$$

$$S_{\text{факт}} = 28,53 / (0,6 \cdot 1350 \cdot 10) = 0,35\%.$$

Знаючи фактичний вміст солей у ґрунті (0,35%), можна розрахувати промивну норму [21]:

$$W_{\text{пром.норма}} = (0,35 - 0,15) \cdot 0,6 \cdot 1350 / 0,8 = 202,5 \text{ м}^3/\text{га}.$$

Згідно з розрахунками, промивна норма становить 202,5 м³/га. Ця кількість є доцільною та технологічно прийнятою для щорічного промивного поливу після завершення вегетаційного сезону [21,45].

Після проведення всіх заходів необхідно спроектувати технологічну схему крапельного зрошення та параметру мережі для умов Приазов'я, з урахуванням поливної норми та продуктивності однієї крапельниці.

Витрата крапельниці залежить від культури, що вирощується. Для типового крапельника (наприклад Netafim) витрата ($q_{\text{вит}}$) становить 2,0 л/год. Відстань між крапельницями та рядками залежить від культур (табл. 3.4) [45,46].

Таблиця 3.4 - Відстань між крапельницями та рядками для основних секцій культур

Відстань Культури	Між крапельницями	Між рядами
Овочеві	30 см	70 см
Технічні	30 см	60 см
Зернові	30 см	60 см

Розрахунок кількості крапельниць на 1 га для кожної групи культур [45]:

$$N_{\text{крап.}} = 10000 / (d_{\text{крап}} \cdot d_{\text{ряд}}), \quad (3.15)$$

де $d_{\text{крап}}$ – відстань між крапельницями (см);

$d_{\text{ряд}}$ – відстань між рядами (см).

$$N_{\text{крап.овоч}} = 10000 / (0,3 \cdot 0,7) = 47\,619 \text{ од/га};$$

$$N_{\text{крап.техн}} = 10000 / (0,3 \cdot 0,6) = 55\,555 \text{ од/га};$$

$$N_{\text{крап.зерн}} = 10000 / (0,5 \cdot 0,6) = 33\,333 \text{ од/га};$$

Загальна витрата системи крапельного зрошення на 1 га ($Q_{\text{заг.}}$)[45]:

$$Q_{\text{заг.}} = N_{\text{крап.}} \cdot q_{\text{вит}}, \quad (3.16)$$

$$Q_{\text{заг.овоч}} = 47\,619 \cdot 2,0 = 95\,238 \text{ л/год} = 95,24 \text{ м}^3/\text{год} \cdot \text{га}$$

$$Q_{\text{заг.техн}} = 55\,555 \cdot 2,0 = 111\,110 \text{ л/год} = 111,11 \text{ м}^3/\text{год} \cdot \text{га}$$

$$Q_{\text{заг.зерн}} = 33\,333 \cdot 2,0 = 66\,666 \text{ л/год} = 66,67 \text{ м}^3/\text{год} \cdot \text{га}$$

Тривалість одного поливу ($t_{\text{пол.}}$) для внесення поливної норми $m = 300\text{-}450 \text{ м}^3/\text{га}$ (норма в спекотний період 3- 4 доби) [46];

$$t_{\text{пол.}} = m / Q_{\text{заг.}}, \quad (3.17)$$

$$t_{\text{пол.овоч}} = 400 / 95,24 = 4,2 \text{ год} = 252 \text{ хв};$$

$$t_{\text{пол.техн}} = 450 / 111,11 = 4,1 \text{ год} = 243 \text{ хв};$$

$$t_{\text{пол.зерн}} = 300 / 66,67 = 4,5 \text{ год} = 270 \text{ хв};$$

Отримані значення (252, 243 та 270 хвилини) роблять крапельне зрошення ефективнішим, особливо завдяки автоматизованій системі з датчиками вологості ґрунту. Короткі цикли забезпечують оптимальний вміст вологи у кореневому шарі, не переувільнюють ґрунт і не знижують аерацію. Використання вищенаведених інженерно-технологічних рішень позитивно впливає на вирішення питань якості та захисту чорноземів навіть в умовах зміни клімату. У результаті формується стійка система, яка відповідає нормам ДСТУ 2730:2015 та рекомендаціям FAO [1,21,45].

4 ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РАЦІОНАЛЬНОГО ВОДОКОРИСТУВАННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ВОД

4.1 Вплив технологій на стан ґрунтового покриву та екосистеми водного регіону

Впровадження сучасних систем технологічної підготовки поверхневих вод для зрошуваного землеробства має значний позитивний вплив. Найбільш ефективним і впливовим заходом, який робить ґрунт більш придатним та знижує витрати води при поливі, є крапельне зрошення. Поєднання декількох систем (крапельне зрошення, механічна очистка та хімічна меліорація) покращує ґрунтовий покрив та якість екосистеми річок Приазов'я. Таке комплексне застосування заходів зменшує негативні наслідки для екології, вплив на ґрунти, які використовуються для зрошення, а також позитивно впливає на весь регіон Приазов'я, де використовують воду, що не відповідає нормам і має перевищення показників. Це робить воду неякісною та забороненою для використання як у зрошенні, так і в господарсько-комунальному секторі [20,21,45].

Основні ґрунти річок Приазов'я мають ризик вторинного засолення, оскільки кожна досліджувана річка не відповідає нормам. Усі річки мають перевищення мінералізації понад 1000 мг/л. При повторному використанні цих вод мінералізація може досягати 1500 – 2000 мг/л. За таких умов існує ймовірність накопичення солей спочатку у верхньому горизонті ґрунту, через що підвищується осмотичний тиск ґрунтовому розчину, а для рослин знижуються ключові показники водності та поживності. Ці процеси протягом 3-5 років знижують родючість ґрунтів, які переважають у Приазов'ї, а саме чорноземів. Застосування двох або більше технологій підготовки води для зрошення дозволяє уповільнити процес засолення завдяки зменшенню накопичення токсичних іонів, таких як натрій та хлорид, які

негативно впливають як на верхні шари ґрунту, так і на нижчі горизонти ґрунтового покриву [20,21,48].

Ключовим наслідком, який становить серйозну проблему для сучасного стану поверхневих вод у Приазов'ї, є солонцювання ґрунтів. Цей процес розвивається при високому вмісті показника SAR у ґрунтах. Накопичення натрію має негативний вплив: через його збільшення та витіснення кальцію та магнію ґрунт стає щільнішим, втрачає структуру, погіршується водопроникність у нижчі шари ґрунту та його аерації.

Поєднання двох факторів для покращення загальної ситуації та запобігання розвитку та солонцювання ґрунтів - це крапельне зрошення та процес гіпсування (хімічна меліорація). Завдяки цим заходам такі речовини, як натрій, кальцій та магній, знаходяться в ґрунті в гранично допустимих концентраціях і не впливають на необхідні процеси в різних його шарах [21,45].

Впровадження сучасних технологій на полях Приазов'я позитивно впливає на біологічну активності ґрунту. Зокрема, наявність дощових черв'яків, азотфіксуючих бактерій та інших організмів сприяє процесу гумусоутворення. Завдяки технологічним заходам у ґрунт надходить менша кількість солей та інших негативно впливових сполук, підтримується наявний або формується майбутній вміст органічної речовини, зберігаються фауна та флора ґрунту, зупиняють процеси деградації [20,21].

Запровадження локального зрошення є основою і необхідним поштовхом для зменшення такого ризику, як евтрофікація, який часто спостерігається в теплу пору року (навесні або влітку). Локальне зрошення є основою для зниження обсягу дренажних вод, що містять надлишок таких негативних елементів, як азот та фосфор. Зменшення їх обсягу і впровадження правильних рішень допомагає річкам, лиманам та іншим водотокам Приазов'я зменшити існуючий рівень навантаження [48].

Методи минулого, такі як поверхнєве зрошення або ж дощування, не є досить ефективним для сучасного стану та ситуації. Крапельне зрошення є значно ефективним, а впровадження попередньої підготовки води має досить позитивну

динаміку. Це знижує антропогенне навантаження на всі комплекси водного та ґрунтового спрямування у регіоні. Загальна ефективність водокористування та водовідведення є сучасною та необхідною для річок Приазов'я. Технологія із запровадженням двох чи трьох методів підвищує екологічний ефект, забезпечує охорону ґрунтових ресурсів та загальну екологічну рівновагу - як у сучасному світі, так і в майбутньому. Існуючі та майбутні системні підходи стабілізують ситуацію в агроєкосистемі, збережуть родючість земель, забезпечать правильне та можливе використання ґрунтів для зрошувального землеробства, сприятимуть підвищенню або зменшенню обсягів негативних речовин і сполук у локальному секторі Приазов'я, а також мінімізують довгострокові наслідки зміни клімату [19,48].

4.2 Економічна оцінка доцільності впроваджених технологій

В сучасних умовах ключовим етапом є впровадження та обґрунтування для регіону Приазов'я економічної оцінки і ефективності якості поверхневих вод при їх використанні у зрошенні. Проведення певних методів за технологічними заходами є необхідним при змінах клімату [25,35,45].

Проведення розрахунку при сучасних змінах безпосередньо для Приазов'я є одним із основних етапів, оскільки такі складові, як капітальні вкладення, експлуатаційні витрати, економічний ефект та екологічні вигоди, повинні бути враховані при ймовірному використанні поверхневих вод для поливу сільськогосподарських культур. Це необхідно для запобігання негативному впливу через сучасні кліматичні зміни, воєнні дії та забруднення вод від підприємств [24].

Порівняльний розрахунок та обґрунтування технологій підготовки води для зрошення в умовах регіону Приазов'я виконано для трьох схем:

1. Механічна фільтрація + коагуляція + крапельне зрошення.
2. Зворотній осмос + пост-мінералізація + крапельне зрошення.
3. Електродіаліз + іонний обмін + крапельне зрошення.

1. Перша технологія забезпечує видалення приблизно 10-20 % солей, (приймаємо 15%), тоді як 85% залишається.

Кінцевий показник мінералізації при цій технології розраховується за формулою (4.1) [24]:

$$M_{\text{кінц}} = M_{\text{поч}} \cdot (1 - E_{\text{знесол}}), \quad (4.1)$$

де $M_{\text{поч}}$ – початкова мінералізація = 6341 мг/дм³;

$E_{\text{знесол}}$ – ефективність знесолення.

$$M_{\text{кінц}} = 6341 \cdot (1 - 0,85) = 5390 \text{ мг/дм}^3$$

Відповідно до норм класу придатності за ДСТУ 2730:2015, мінералізація води відноситься до 3 класу, що робить воду непридатною для використання в зрошенні. Придатна вода вважається за умови $M_{\text{кінц}} \leq 1000 \text{ мг/дм}^3$ [24].

Накопичення солей у ґрунті за вегетаційний сезон становить [20]:

$$M_{\text{солі}} = \frac{M_{\text{кінц}} \cdot W}{10^6}, \quad (4.2)$$

де $M_{\text{кінц}}$ - кінцевий показник мінералізації цієї технології;

W – зрошувальна норма = 4500 м³/га · рік.

$$M_{\text{солі}} = \frac{6341 \cdot 4500}{10^6} = 24,26 \text{ т/га}$$

Допустиме максимальне значення становить 3,0 т/га. Перевищення складає:

$$M_{\text{перевищ}} = \frac{24,26}{3,0} = 8,1 \text{ рази}$$

При допустимій нормі технологія є неефективною, існує високий ризик засолення [20].

Розрахунок терміну окупності: при капітальних витратах на 1 га = 85 000 грн/га, загальні витрати на 50 га буде дорівнювати [21,45]:

$$T_{\text{окуп}} = 85\,000 \cdot 50 = 4\,250\,000 \text{ грн};$$

де 50 – це кількість площі ґрунтів, де проводиться зрошення у га;

Загальний обсяг поливної води на рік для 50 га:

$$W_{\text{обс}} = W \cdot F, \quad (4.3)$$

$$W_{\text{обс}} = 4500 \cdot 50 = 225\,000 \text{ м}^3/\text{рік};$$

Для зниження експлуатаційних витрат запроваджуються заходи з оптимізації енергоспоживання:

1. Встановлення сонячних панелей для живлення насосів;
2. Використання рекуператорів енергії в системі ЗО, тобто перетворення надлишкового тиску концентрату в електроенергію;
3. Нічний тариф на електроенергію.

Таблиця 4.1 – Оптимізаційні заходи збереження енергоспоживання

Захід	Економія + витрати в кВт · год	Тривалість роботи заходів	Економія + витрати заходів за добу	Економія + витрати в тис грн за 1 вег.сезон
Сонячні панелі $\approx$ 30%	1,7	7 годин	+ 11,9	+ 89 250
Рекуперація енергії	0,84	24 години	+ 20,16	+ 151 200
Нічний тариф	7,0	8 годин	+ 56,0	+ 420 000
Денний тариф	9,0	9 годин	- 81,0	- 607 500
Разом	18,54	24 години	+ 7,06	+ 52 950

Один вегетаційний сезон триває $\approx$ 150 діб, площа зрошення 50 га.

1. Сонячна панель виробляє електроенергії 1,7 кВт · год при роботі 7 годин = 11,9 кВт, потужність насоса для сільськогосподарського поливу 7кВт.

Для поливу площу 50 га сільськогосподарських культур витрачається:

При використанні усіх заходів:

$$E_{\text{сон.пан}} = E_{\text{вит}} \cdot T \cdot T_{\text{вег.}} \cdot F, \quad (4.4)$$

$$E_{\text{сон.пан}} = 1,7 \cdot 7 \cdot 150 \cdot 50 = 89\,250 \text{ грн};$$

$$E_{\text{рекуп.}} = 0,84 \cdot 24 \cdot 150 \cdot 50 = 151\,200 \text{ грн};$$

$$E_{\text{ніч.тар}} = 7,0 \cdot 8 \cdot 150 \cdot 50 = 420\,000 \text{ грн};$$

$$E_{\text{ден.тар}} = 9,0 \cdot 9 \cdot 150 \cdot 50 = 607\,500 \text{ грн}.$$

При оптимізації заходів і впровадження додаткових систем зменшення обсягів енергоспоживання:

$$E_{\text{вег.сезон}} = E_{\text{сон.пан}} + E_{\text{рекуп.}} + E_{\text{ніч.тар}} - E_{\text{ден.тар}}, \quad (4.5)$$

$$E_{\text{вег.сезон}} = 89\,250 + 151\,200 + 420\,000 - 607\,500 = +52\,950 \text{ грн.}$$

Розрахунок експлуатаційних витрат за один вегетаційний сезон[24,25]:

$$C_{\text{експ}} = 56\,250 + 22\,500 + 52\,950 = 131\,700 \text{ грн/рік};$$

де 56 250 грн/рік - це загальний обсяг поливної води = 225 000 грн/рік · 0,25 грн/м³;

0,25 – нормативна вартість реагентів на очищення 1 м³ води;

22 500 грн/рік – це витрати на обслуговування- 225 000 грн/рік · 0,10 грн/м³;

0,10 – питома витрата на технічне обслуговування 1 м³ води.

Розрахунок економічного ефекту від підвищення врожайності [45,51]:

$$E_{\text{врож}} = B_{\text{врож}} \cdot B_{\text{коэф}} \cdot P_{\text{прод}} \cdot F, \quad (4.6)$$

$$E_{\text{врож}} = 2,5 \cdot 0,10 \cdot 9500 \cdot 50 = 118\,750 \text{ грн/рік};$$

де $B_{\text{врож}}$ – базова кількість врожаю культур з 1 га = 2,5 т/га;

$B_{\text{коэф}}$ – коефіцієнт, середнє значення очікуваного підвищення врожайності відповідно від 8-15%, тобто середнє значення = 10% - 0,10;

$P_{\text{прод}}$ – ціна за одиницю продукції – середнє значення 9500 грн за 1 т;

Окупність у грошовому еквіваленті [24]:

$$O_{\text{екв}} = E_{\text{врож}} \cdot C_{\text{експ}}, \quad (4.7)$$

$$O_{\text{екв}} = 118\,750 - 131\,700 = -12\,950 \text{ грн/рік}$$

Результат першого року використання першої технології показує збиток близько 12 950 грн/рік. Отже, її використання є недоцільним та неефективним [21,45].

2. Друга технологія (зворотний осмос + пост-мінералізація + крапельне зрошення).

Поетапність другої технології зрошення забезпечує ефективність затримання солей $R = 97\%$. Мінералізація пермеату $C_{\text{перм}} = 190,2 \text{ мг/дм}^3$. Частка вихідної води у суміші $\alpha = 0,050$ (необхідно змішати 95% пермеату зворотного осмосу і 5% вихідної річкової води). Коефіцієнт відновлення $Y = 75\%$, мінералізація концентрату становить $24\,790 \text{ мг/дм}^3$ (рис. 4.1).

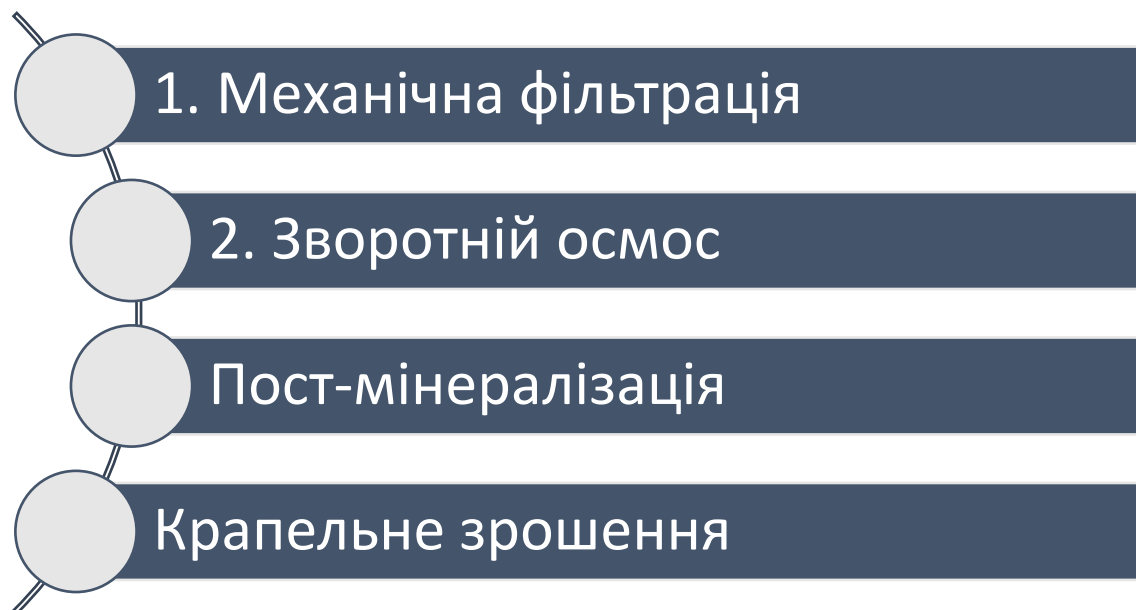


Рисунок 4.1 – Технологічна схема підготовки поверхневих вод для зрошення
Розрахунок накопичення солей при мінералізації води 500 мг/дм^3 [20]:

$$M_{\text{солі}} = \frac{M_{\text{норм}} \cdot W}{10^6}, \quad (4.8)$$

$$M_{\text{солі}} = \frac{500 \cdot 4500}{10^6} = 2,25 \text{ т/га}$$

Норма накопичення солей у ґрунті становить від 1,5 до 3,0 т/га.

Відношення до норми:

$$M_{\text{норм.солі}} = \frac{2,25}{3,0} = 0,75 < 1,$$

Отже, вода є безпечною і може використовуватися для зрошення.

Показник SAR після обробки: без обробки $\text{SAR} = 4,2 \text{ мг-екв/дм}^3$ (норма $3,0 \text{ мг-екв/дм}^3$). Після зворотного осмосу:

$$SAR_{\text{звор.осм}} = SAR_{\text{поч}} \cdot (1 - R_{Na}), \quad (4.9)$$

де $SAR_{\text{поч}}$ – початковий показник SAR;

R_{Na} - коефіцієнт селективності мембран, мембрана затримує 95% натрію, а пропускає лише 5%, тобто 0,05, це відповідно значенню $= 0,95$.

$$SAR_{\text{звор.осм}} = 4,2 \cdot (1 - 0,95) = 0,21 \text{ мг-екв/дм}^3$$

Після пост-мінералізації з урахуванням 5% домішки:

$$SAR_{\text{кінц}} = 0,21 \cdot 0,95 + 4,2 \cdot 0,05 = 0,41 \text{ мг-екв/дм}^3$$

Показник $SAR < 3,0 \text{ мг-екв/дм}^3$, що відповідає нормі [1,20].

Технологія зворотного осмосу є найбільш енергоємною, а саме $2,52 \text{ кВт·год/м}^3$, через це впровадження по оптимізації енергоспоживання повинно бути обов'язковим для рентабельності технології.

Таблиця 4.2 - Заходи оптимізації енергоспоживання для технології зворотного осмосу [24,25,35]

Захід	Економія + витрати кВт·год	Зниження споживання %	Тривалість роботи заходів	Економія + витрати в тис грн за 1 вег.сезон
Сонячні панелі	1,7	+ 30 %	7 годин	+ 116 025
Рекуператори енергії	0,84	+ 20%	24 години	+ 181 440
Нічний тариф	7,0	+ 50%	8 годин	+ 630 000
Економія разом	18,54	100%	24 години	+ 927 465

Розрахунок витрат на електроенергію до оптимізації заходів [24,35]:

$$C_{\text{до опт.}} = E_{\text{пит}} \cdot W_{\text{заг}} \cdot T_{\text{ден.тар}}, \quad (4.10)$$

$$C_{\text{до опт.}} = 2,52 \cdot 225\,000 \cdot 2,0 = 1\,134\,000 \text{ грн/рік};$$

Розрахунок витрат на електроенергію після впровадження заходів [24,35]:

$$C_{\text{після опт.}} = C_{\text{до опт.}} \cdot E_{\text{екон}}, \quad (4.11)$$

$$C_{\text{після опт.}} = 1\,134\,000 - 927\,465 = 206\,535 \text{ грн/рік};$$

Державні підтримки та субсидії, допомагають території, де впровадження таких технологій як зворотній осмос, матимуть позитивну динаміку відповідно до прикладів за межами України, де виділяється певна кількість фінансів як приклад:

Фонд енергоефективності, де гранти доходять до 200 000 євро і також Програми ЄС, де вони сягають до 40% співфінансуванні та пільгові кредити до 80% вартості. Тобто для проекту 50 га по вирощування якісної і чистої сільськогосподарської продукції фінансується 11 400 000 грн.

Загальні капітальні витрати = $228\,000 \cdot 50 = 11\,400\,000$ грн.

Вирощування таких основних культур є потенційно високим для України, саме через те, що соняшник це основна олійна культура, гречка преміальна на ринку крупа, кукурудза має стабільний збут, а ріпак є основним експортним потенціалом (табл.4.3).

Таблиця 4.3 – Дохід від вирощування ключових культур на площі 50 га

Культура	Площа, га	Потенційна врожайність, т/га	Підвищення врожайності при впровадженні заходів	Реальна врожайність, т/га	Ціна, грн/т	Дохід від культури, грн/рік
Соняшник	20	2,8	+ 40%	3,92	14 500	454 720
Гречка	10	1,5	+ 38%	2,07	22 000	182 160
Кукурудза	15	7,0	+ 42%	9,94	6 800	405 552
Ріпак	5	2,5	+ 40%	3,50	16 500	115 500
Разом	50	13,8	+ 40%	19,43	59 800	1 053 982

Розрахунок економічного ефекту від підвищення врожайності:

$$E_{\text{врож}} = B_{\text{врож}} \cdot B_{\text{коэф}} \cdot P_{\text{прод}} \cdot F, \quad (4.12)$$

$$E_{\text{врож.сон}} = 3,92 \cdot 0,40 \cdot 14\,500 \cdot 20 = 454\,720 \text{ грн/рік};$$

$$E_{\text{врож.греч}} = 2,07 \cdot 0,40 \cdot 22\,000 \cdot 10 = 182\,160 \text{ грн/рік};$$

$$E_{\text{врож.кук}} = 9,94 \cdot 0,40 \cdot 6\,800 \cdot 15 = 405\,552 \text{ грн/рік};$$

$$E_{\text{врож.ріп}} = 3,50 \cdot 0,40 \cdot 16\,500 \cdot 5 = 115\,500 \text{ грн/рік};$$

де $B_{\text{врож}}$ – базова кількість врожаю культур з 1 га = згідно таблиці культур в т/га;

$B_{\text{коэф}}$ – коефіцієнт, середнє значення очікуваного підвищення врожайності відповідно від 35-50%, тобто середнє значення = 40% - 0,40;

$P_{\text{прод}}$ – ціна за одиницю продукції – середнє значення в грн за 1т, при експортуванню якісної і вирощування культур переважно на ґрунтах в Україні (соняшник, гречка та кукурудза, ріпак) і також сертифікація продукції «Еко»;

Сумарна врожайність культур на 50 га площі:

$$E_{\text{врож}} = 454\,720 + 182\,160 + 405\,552 + 115\,500 = 1\,053\,982 \text{ грн/рік}$$

Загальні витрати впродовж одного року:

$$C_{\text{заг.}} = C_{\text{після опт.}} + C_{\text{реаг.}} + C_{\text{обсл.}} + C_{\text{амор.}}, \quad (4.13)$$

$$C_{\text{заг.}} = 206\,535 + 112\,500 + 85\,000 + 160\,000 = 564\,035 \text{ грн/рік}$$

де $C_{\text{реаг.}} = 0,50 \text{ грн/м}^3 \cdot 225\,000 = 112\,500 \text{ грн}$, що витрачається на різні реагенти;

$C_{\text{обсл.}} = 85\,000 \text{ грн}$, витрачається на обслуговування мембран, фільтрів;

$C_{\text{амор.}} = 11\,400\,000 / (10 \cdot 0,714) = 160\,000 \text{ грн}$, витрачається на амортизацію після субсидії;

Результат першого року, в який не включається субсидії:

$$U_{1 \text{ рік.}} = E_{\text{врож.}} + C_{\text{екон.}} - C_{\text{заг.}} - C_{\text{до опт.}} \quad (4.14)$$

$$U_{1 \text{ рік.}} = 1\,053\,982 + 927\,465 - 564\,035 - 1\,134\,000 = +283\,412 \text{ грн/рік}$$

Термін окупності власних вкладень після отримання субсидії від Фонду енергоефективності = 2 640 000 грн.

$$T_{\text{окуп.}} = \frac{C_{\text{власн.}}}{U_{1 \text{ рік.}}}, \quad (4.15)$$

$$T_{\text{окуп.}} = \frac{2\,640\,000}{283\,412} = 9,3 \text{ роки}$$

Прибуток першого року експлуатації (без урахування субсидій) становить 283 412 грн/рік. Термін окупності власних вкладень після отримання субсидії (2 640 000 грн) становить 9,3 року.

3. Третя технологія (електродіаліз + іонний обмін + крапельне зрошення) забезпечує кінцеву мінералізацію:

$$M_{\text{кінц}} = M_{\text{поч}} \cdot (1 - E_{\text{знес.ед}}), \quad (4.16)$$

де $M_{\text{поч}} = 6341 \text{ мг/дм}^3$;

$E_{\text{знес.ед}}$ – ефективність знесолення електродіалізом 0,80.

$$M_{\text{кінц}} = 6341 \cdot (1 - 0,80) = 1268,2 \text{ мг/дм}^3.$$

Накопичення солей у ґрунті:

$$M_{\text{солі}} = \frac{M_{\text{кінц}} \cdot W}{10^6}, \quad (4.17)$$

$$M_{\text{солі}} = \frac{1270 \cdot 4500}{10^6} = 5,72 \text{ т/га}$$

Перевірка за нормою ($M_{\text{доп}} = 3,0 \text{ т/га}$):

$$K_{\text{норм}} = \frac{5,72}{3,0} = 1,9 > 1,0$$

Показник SAR після обробки:

$$SAR_{\text{після обр.}} = SAR_{\text{поч.}} \cdot (1 - E_{\text{знес.ед}}), \quad (4.18)$$

$$SAR_{\text{після обр.}} = 4,4 \cdot (1 - 0,8) = 0,88 \text{ мг-екв/дм}^3$$

Після додаткового видалення Na на 30%:

$$SAR_{\text{кінц.}} = SAR_{\text{після обр.}} \cdot (1 - 0,3) = 0,88 \cdot 0,7 = 0,616 \text{ мг-екв/дм}^3$$

Норма $SAR_{\text{доп.}} = 3,0 \text{ мг-екв/дм}^3$, а $0,62 < 3,0$, - технологія є доцільною.

Оптимізація енергоспоживання наведена у табл.4.4.

Таблиця 4.4 – Заходи оптимізації енергоспоживання за Електродіалізом у 50 га

Захід	Економія + витрати кВт·год	Зниження споживання %	Тривалість роботи заходів	Економія + витрати в тис грн за 1 вег.сезон
Сонячні панелі	1,7	+ 30 %	7 годин	+ 116 025
Рекуператори енергії	0,84	+ 10%	24 години	+ 166 320
Нічний тариф	7,0	+ 60%	8 годин	+ 672 000
Денний тариф	9,0	- 40%	9 годин	- 364 500
Економія разом	18,54	60 %	24 години	+ 589 845

Розрахунок витрат на електроенергію до оптимізації заходів[35,38]:

$$C_{\text{до опт.}} = E_{\text{пит}} \cdot W_{\text{заг}} \cdot T_{\text{ден.тар}}, \quad (4.19)$$

$$C_{\text{до опт.}} = 1,80 \cdot 225\,000 \cdot 2,0 = 810\,000 \text{ грн/рік};$$

Розрахунок витрат на електроенергію після впровадження заходів:

$$C_{\text{після опт.}} = C_{\text{до опт.}} \cdot E_{\text{екон}}, \quad (4.20)$$

$$C_{\text{після опт.}} = 810\,000 - 589\,845 = 220\,155 \text{ грн/рік}.$$

Таблиця 4.5 – Дохід від вирощування ключових культур на площі 50 га

Культура	Площа, га	Потенційна врожайність, т/га	Підвищення врожайності при впровадженні заходів	Реальна врожайність, т/га	Ціна, грн/т	Дохід від культури, грн/рік
Соняшник	20	2,8	+ 35%	3,78	14 500	383 670
Гречка	10	1,5	+ 33%	1,99	22 000	153 230
Кукурудза	15	7,0	+ 38%	9,66	6 800	344 862
Томати	5	40,0	+ 35%	54,0	4 500	425 250
Разом	50	51,3	+ 35%	69,43	47 800	1 307 012

Розрахунок економічного ефекту від підвищення врожайності:

$$E_{\text{врож}} = B_{\text{врож}} \cdot B_{\text{коэф}} \cdot P_{\text{прод}} \cdot F, \quad (4.12)$$

$$E_{\text{врож.сон}} = 3,78 \cdot 0,35 \cdot 14\,500 \cdot 20 = 383\,670 \text{ грн/рік};$$

$$E_{\text{врож.греч}} = 1,99 \cdot 0,35 \cdot 22\,000 \cdot 10 = 153\,230 \text{ грн/рік};$$

$$E_{\text{врож.кук}} = 9,66 \cdot 0,35 \cdot 6\,800 \cdot 15 = 344\,862 \text{ грн/рік};$$

$$E_{\text{врож.том}} = 54,0 \cdot 0,35 \cdot 4\,500 \cdot 5 = 425\,250 \text{ грн/рік};$$

Сумарна врожайність культур на 50 га площі:

$$E_{\text{врож}} = 383\,670 + 153\,230 + 344\,862 + 425\,250 = 1\,307\,012 \text{ грн/рік}$$

Загальні витрати впродовж одного року[24,35,45]:

$$C_{\text{заг.}} = C_{\text{після опт.}} + C_{\text{реаг.}} + C_{\text{обсл.}} + C_{\text{амор.}}, \quad (4.13)$$

$$C_{\text{заг.}} = 220\,155 + 90\,000 + 70\,000 + 145\,800 = 525\,955 \text{ грн/рік}$$

де $C_{\text{реаг.}}$ – 90 000 грн, що витрачається на різні реагенти;

$C_{\text{обсл.}}$ – 70 000 грн, витрачається на обслуговування мембран, фільтрів;

$C_{\text{амор.}}$ – 145 800 грн, витрачається на амортизацію після субсидії;

$$C_{\text{кап.витр.}} = 175\,000 \cdot 50 = 8\,750\,000 \text{ грн};$$

де 175 000 – питомі витрати на 1 га;

сума гранту у 60% від $8\,750\,000 \cdot 0,6 = 5\,250\,000$ грн.

$$C_{\text{влас.витр.}} = 8\,750\,000 - 5\,250\,000 = 3\,500\,000 \text{ грн}$$

Капітальні витрати з гранту Фонду енергоефективності = 8 750 000 грн та з ЄС-програм близько 40%.

Результат першого року, в який не включається субсидії:

$$U_{1 \text{ рік.}} = E_{\text{врож.}} + C_{\text{екон.}} - C_{\text{заг.}} - C_{\text{до опт.}} \quad (4.14)$$

$$U_{1 \text{ рік.}} = 1\,307\,012 + 589\,845 - 525\,955 - 810\,000 = +560\,902 \text{ грн/рік}$$

Термін окупності власних вкладень після отримання субсидії від Фонду енергоефективності = 3 500 000 грн [45,51].

$$T_{\text{окуп.}} = \frac{C_{\text{власн}}}{U_{1 \text{ рік.}}} \quad (4.15)$$

$$T_{\text{окуп.}} = \frac{3\,500\,000}{560\,902} = 6,2 \text{ роки}$$

Прибуток першого року становить 560 902 грн/рік. Термін окупності власних вкладень (3 500 000 грн) становить 6,2 року. Без субсидій окупність настане через 15,6 років, що є негативною динамікою [20,24,45].

4.3 Заходи з охорони водних ресурсів та адаптації до зрошувального землеробства при зміні клімату

У регіоні кліматичних змін для річок Приазов'я наявність негативних факторів має велике значення. Через підвищену мінералізацію та дефіцит водних ресурсів впровадження необхідних заходів є досить позитивно, оскільки це добре впливає на зрошення та зниження солоності, перевищення SAR та RSC. Це забезпечує також використання ґрунтів завдяки їх екологічно безпечному аграрному виробництву як у теперішньому, так і майбутньому часі при зміні клімату. Отже, захист і забезпечення ґрунтів та водних екосистем необхідними охоронними заходами є обов'язковим для досягнення якісних показників як у підприємницькій діяльності так і в сільськогосподарському та господарсько-побутовому використанні [20,45].

Одним із основних напрямів, необхідних для зниження негативних показників, впливають на зрошення, є оптимізація технологій. Для підвищення якості води та загальної динаміки для майбутнього існування і можливості використання водних ресурсів пропонуються такі заходи:

- Впровадження крапельного зрошення у більшості населених пунктів, розташованих біля регіону Приазов'я. Цей захід зменшує обсяги водоспоживання, обмежує випаровування води та максимально можливо усуває утворення вторинного засолення в ґрунтах. Причина полягає в тому, що крапельне зрошення подає воду безпосередньо до коренів культур, а не залишає її на поверхні (як при поверхневому зрошенні або дощуванні). Випаровування майже не відбувається. У двох останніх способах високі температурні показники та наявність вітру

спричиняють швидке висихання внесеної води, після чого можна спостерігати вітрову та водну ерозію. Як правило, зростає ймовірність ризику вторинного засолення, що призводить до відсутності врожаю та якісного чорнозему в даній місцевості протягом 3-5 років. Використання локального внесення води в кореневу зону культур разом із очищенням сприяє мінімізувати міграції речовин та сполук (зокрема солей, які накопичуються у верхніх горизонтах), а також підтримує водно-повітряний режим в оптимальному та необхідному стані в регіоні Приазов'я [21].

- Запровадження заходів з підготовки вод для поливу є необхідним, оскільки річка в регіоні Приазов'я є або обмежено придатною, або непридатною. У великих річках спостерігається перевищення вмісту розчинених солей та завислих речовин. Тому використання механічної фільтрації, хімічної обробки та відстоювання є доцільним і має позитивну динаміку. Механічна фільтрація видаляє нерозчинені домішки: вода, яка буде використовуватися, пропускається через спеціальний фільтр. Це є ключовим етапом очищення водних ресурсів. У воду додаються спеціальні хімічні реагенти, які видаляють мікроорганізми та забруднення, а вода стає менш жорсткою. Відстоювання також використовується в усіх сферах, де необхідна вода. Цей процес є досить простим і не потребує значних витрат, хоча потребує деякого часу: тверді частинки осідають на дно, а легкі сполуки можуть випаровуватися. Однак цей захід не є на 100% ефективним, оскільки хоча тверді частинки видаляються, бактерії та розчинені хімічні сполуки значною мірою залишаються у воді [10,14,22].

- Хімічна меліорація (гіпсування) є необхідним заходом для зменшення засолення ґрунтів, яке є досить поширеним явищем у регіоні. Наявний у ґрунті натрію, який має негативний вплив на структуру та родючість, необхідно замінювати кальцієм. Процес внесення гіпсу покращує структуру ґрунту на зрошуваних ділянках та значно підвищує його водопроникність. Завдяки цьому відновлюється природна аерація, знижується лужність і створюються сприятливі умови для розвитку кореневої системи культурних рослин.

Забезпечення необхідного контролю є ключовим аспектом, оскільки це одна з головних ланок по захисту водних екосистем. Контроль якості дренажних вод може суттєво знизити надходження забруднювальних речовин до річкового басейну Приазов'я. Це досягається завдяки створенню таких захисних елементів, як буферні зони впродовж річок, системи очищення поверхневого стоку та засоби захисту рослин. Крім того, необхідно суворо дотримуватись норм внесення добрив на зрошувальних територіях, щоб уникнути надмірного надходження біогенних елементів у водні об'єкти [10,14,22].

Управління БУВР річок Приазов'я здійснює необхідні моніторингові спостереження за якістю води та її використанням на законних і задокументованих підставах. Завдяки діяльності спеціальних управлінь та організацій забезпечується контрольне виявлення засолення ґрунтів, а також фіксуються ймовірні зміни якості води та гідрологічного режиму. Ефективна робота дозволяє спостерігати за станом усіх великих річок регіону та забезпечувати водокористувачів необхідною для прийняття управлінських рішень [10,15].

До сучасних технологій також належить впровадження більш точного і доцільного зрошення з використанням датчиків вологості ґрунту, автоматизованих систем управління та метеорологічних станцій. Впровадження цих технологічних рішень дозволяє зменшити витрати води (на 30-50%) та суттєво знизити ймовірність деградації ґрунтового покриву. Застосування таких заходів сприяє зменшенню негативного впливу на довкілля, забезпечує належний контроль якості води та раціональне використання водних ресурсів для населення регіону Приазов'я. Уже зараз необхідно забезпечувати екологічну стійкість агроландшафту як на даній території, так і на всій території України, де існують подібні проблеми сучасності та майбутнього [45,50].

4.4 Рекомендації по розвитку систем моніторингу, інтегруванню та відновленню поверхневих вод басейну річок

Для регіону річок Приазов'я зміни клімату є досить важливим фактором, що впливає на стан водних ресурсів. Саме через це виникає необхідність впровадження систем, які повинні розвиватися з урахуванням існуючих проблем та їх можливості загострення в майбутньому. Ключовими напрямками є проведення моніторингу, інтегруванню даних та відновлення маловодних річок для потреб зрошення. Поверхневі води є багатофакторним ресурсом, який повинен відповідати вимогам різних видів діяльності, що потребує запровадження комплексного підходу. Основними негативними впливами на ґрунтовий покрив, зрошуване землеробство та загальну водну екосистему є високий показник мінералізації, зміна клімату, зниження обсягів водних ресурсів та їх незадовільне використання [10,14,15].

Запровадження таких традиційних способів зрошення, як поверхнєве зрошення та дощування, має переважно негативні показники та фактори для використання їх безпосередньо в зрошувальному землеробстві. Натомість у сучасних умовах та при зміні клімату доцільним є використовувати крапельного зрошення, яке стає більш ефективною ланкою в розвитку аграрного сектору на перспективу. Перші два способи часто застосовують без належного обґрунтування, невірно, що призводить до значних втрат води (40-60%), яка не досягає кореневої системи рослин, утворення на поверхні ґрунту біло нальоту (інею) – ознаки вторинного засолення. Як правило, після цього ґрунт стає деградованим і втрачає свої фізико-хімічні властивості. Крапельне зрошення поки що не є таким поширеним, однак воно має значні переваги: ґрунт залишається структурованим, водні ресурси використовуються раціонально, коренева система не висихає, а ризик утворення вторинного засолення стає мінімальним.

Річки басейну Приазов'я, які використовуються або плануються до використання для поливу, мають підвищений вміст різних забруднювальних речовин та сполук. Тому ці води заборонено використовувати без попередньої

підготовки. Усі процеси підготовки є необхідними, оскільки вони дозволяють регулювати хімічний склад води та забезпечувати її очищення до нормативних показників. Це стосується як господарсько-побутового та сільськогосподарського використання, так і зрошувального землеробства зокрема [48,49].

Ключові рекомендації, які повинні бути впроваджені вже зараз, а також модернізовані та вдосконалені в майбутньому, включають:

1. Розширення мережі пунктів спостереження за водними об'єктами. Це особливо важливо для нижньої течії річок, де накопичується вода з усього басейну. Дослідження саме в цій частині є більш репрезентативним, оскільки тут існує ймовірність утворення повеней, оцінюється загальний стан якості води та можливість її використання в господарській та зрошувальній діяльності.

2. Регулярне визначення показників SAR та RSC у відібраних пробах води є доцільним і необхідним для оцінки ризиків солонцювання ґрунтів. Ці вимірювання слід проводити систематично для потреб зрошення в умовах кліматичних змін [1,20].

3. Створення інтегрованих систем моніторингу для визначення якості вод. На сьогодні відсутні системи, які об'єднують дані різних відомств у єдину інформаційну платформу. Запровадження співпраці між двома типами установ – сільськогосподарськими підприємствами та спеціалізованими організаціями водогосподарського профілю – зробить роботу більш ефективною. Управління водними ресурсами буде безпосередньо пов'язане з потребами сільськогосподарського та зрошувального землеробства. Це дозволить коригувати існуючі плани або розробляти нові системи зрошення в місцях, де вони відсутні, для усунення проблем у майбутньому та їх запобігання вже в сучасний період [10,14,22].

4. Реалізація комплексних заходів з відновлення русел річок, а саме: розчистка від твердих наносів, дрібних гілок, чагарників, мулу та побутового сміття. Це покращує гідроморфологічний стан водотоків, сприяє відновлення природних угідь (зокрема водно-болотних), а також зменшує їхню зарегульованість, що позитивно впливає на водний баланс території [18,19].

5. Розвиток крапельного зрошення не зупиняється на досягнутому. Запровадження сучасних адаптивних технологій в умовах зміни клімату, який змінюється досить стрімко, передбачає спеціальну попередню підготовку та реалізацію пілотних проектів на окремих ділянках. Це дозволить для регіону басейну Приазов'я оцінювати ефективність роботи різних технологічних схем та мінімізувати існуючий негативний стан як поверхневих вод, так і ґрунтового покриву.

6. Удосконалення нормативно-правової бази відповідно до сучасних викликів. У цю сферу необхідно включити питання адаптації до зміни клімату, обов'язковості попередньої водопідготовки при використанні поверхневих вод для зрошення, а також стимулювання впровадження крапельного зрошення та енергоефективних технологій. Розвиток законодавчої бази дозволить забезпечити регіональні програми раціонального водокористування, усунути ризики, які існують у сучасних кліматичних умовах, та оцінити якість води і можливість її використання для потреб населення в різних сферах діяльності.

7. Залучення міжнародної технічної та фінансової допомоги для модернізації систем водопідготовки та зрошення. Гранти ЄС, програми Фонду енергоефективності, технічна підтримка міжнародних організацій можуть забезпечити до 40-80% співфінансування проектів, що значно прискорить впровадження сучасних технологій у регіоні.

Реалізація цих заходів дозволить стабілізувати екологічну ситуацію в басейні річок Приазов'я, зберегти родючість унікальних чорноземів, забезпечити сталий розвиток зрошувального землеробства в умовах глобальних кліматичних змін, а також створити сільськогосподарської продукції.

ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи було комплексно вирішено завдання з оцінки придатності та обґрунтування сучасних технологій використання поверхневих вод басейну річок Приазов'я для потреб зрошувального землеробства в умовах змін клімату. Основні дослідження які були виконанні у кваліфікаційній роботі:

- проаналізовано природно-кліматичні умови та гідрологічний режим басейну річок Приазов'я (Молочна, Берда, Обитічна, Кальміус, Міус, Грузинський Єланчик) в умовах аридизації клімату та воєнних руйнувань гідротехнічної інфраструктури;
- здійснено комплексну оцінку якості поверхневих вод за показниками мінералізації, SAR, RSC, ХПК, БПК₅ та інтегральним індексом WQI відповідно до ДСТУ 2730: 2015 та рекомендацій FAO;
- визначено ризики деградації чорноземів при зрошенні непідготовленою водою та розраховано коефіцієнт засолення ґрунтів;
- проведено порівняльний аналіз трьох технологічних схем водопідготовки та обґрунтовано переваги технології зворотного осмосу;
- розроблено технологічну схему крапельного зрошення з розрахунком параметрів мережі та заходів хімічної меліорації ґрунтів;
- виконано еколого-економічну оцінку запропонованих рішень з урахуванням заходів енергооптимізації та залучення грантових коштів;
- розроблено практичні рекомендації для БУВР річок Приазов'я та сільськогосподарських виробників регіону.

Сучасний гідрохімічний стан річок Приазов'я є критичним для зрошення без попередньої підготовки. Згідно досліджень навіть у воєнний стан визначення показників можливо за допомогою таких допоміжних методів як супутниковий моніторинг тобто дистанційне зондування при використанні орбітальних супутників Sentinel та Landsat, саме цей метод дозволяє визначити площу яка є

затопленою загальний стан заплав, ймовірність забруднення, таких як зміна кольору води через цвітіння води при евтрофікації та динамічність процесів і також ще оцінити вплив різних негативних дій на окупованій території України, за допомогою ділянок, які під контролем України та гирла та при аналізуванні сучасного стану по усій Україні по відкритим джерелам, усі ці методи показують, що кожного року спостерігається підняття середньої температури на $1,1^{\circ}\text{C}$ – $1,6^{\circ}\text{C}$ з 2021 по 2025 рік), меншу кількість випадіння опадів і як правило скорочується обсяг надходження поверхневого стоку. Основні причини які спричинили ці процеси: підрив Каховської ГЕС та активні бойові дії, що змінили кількісний та якісний стан поверхневих вод, що є характерним для водних ресурсів регіону Приазов'я. Відповідно від наданих даних з БУВР та відкритих джерел по аналізуванні моніторингу річок Приазов'я за останні 5 років жодна з досліджених річок не відповідає вимогам ДСТУ 2730:2015 та рекомендаціям FAO для використанні їх у зрошенні і інших потребах населення. По таблицям можливо сказати, що середня мінералізація становить $6\,341\text{ мг/дм}^3$, що робить воду непридатною і перевищення мінералізації у 6,34 рази, при нормі води $\leq 1000\text{ мг/дм}^3$. Показники сульфатів – 1852 мг/дм^3 , хлоридів – 440 мг/дм^3 , натрію – 312 мг/дм^3 , усі ці перевищують ГДК у 1,3 – 3,7 разів. Органічне забруднення ХПК – $60\text{ мг O}_2/\text{дм}^3$, БПК₅ – $10\text{ мг O}_2/\text{дм}^3$. Інтегральний індекс якості $WQI = 304,4$, що відноситься до класу вод «непридатна» для будь-якої діяльності без спеціальної підготовки і очищення. Усі річки які знаходяться у басейні річок Приазов'я відповідають 2 та 3 класам якості вод та придатності у зрошенні та використанні їх населенням.

При проведенні комплексної оцінки ризиків висока ймовірність критичної деградації чорноземів при використанні води до очищення при поливі. Зрошувальна норма - $4500\text{ м}^3/\text{га}$ за один вегетаційний сезон, надходження кількості солей = $28,53\text{ т/га}$ при нормі $3,0\text{ т/га}$, перевищення дорівнює у 8 разів, показник натрієвої адсорбції $SAR = 4,2\text{ мг-екв/дм}^3$, що відповідно до норм визначається як середній ризик солонцювання ґрунтів. По матриці ризиків, де визначається критичне засолення, солонцювання, перевищення ХПК та БПК₅ у

сучасному світі має негативну динаміку без методів майбутнього і впровадження вже існуючих етапів по водопідготовці у використанні вод у безпечне зрошення.

При впровадженні на території басейну річок Приазов'я найбільш доцільним і вірним буде технологічна схема «зворотній осмос + пост-мінералізація + крапельне зрошення». Перша технологія «механічна фільтрація + коагуляція + крапельне зрошення» робить знесолення лише на 15 %, що є досить низьким показником для даної місцевості і існуючих проблем, мінералізація майже не змінюється і залишається перевищення 5 390 мг/дм³ і як в результаті економічної динаміки є недоцільною, адже збиток складає у перший рік 12 950 грн і ймовірність прибутку навіть через 5 – 10 років може не відбутися. Друга технологія «електродіаліз + іонний обмін + крапельне зрошення» вже краще ситуація, а саме зниження мінералізації до 1 270 мг/дм³, що відноситься до другого класу, але накопичення солей де має перевищення у 5,72 т/га, тобто це у 1,9 рази, а окупність настає при сприятливих умов на 6,2 роки. Третя технологія «зворотній осмос + пост-мінералізація + крапельне зрошення» є найкращою і необхідною для використання вод у зрошенні, саме завдяки мембранам FilmTec BW30 які роблять ступінь знесолення 97% де пермеат з мінералізацією 190 мг/дм³, через процес пост-мінералізацію де змішування 95% пермеату та 5% вихідної води робить мінералізацію близько 500 мг/дм³, що саме і відповідає 1 класу придатності, за показником SAR який дорівнює 4,2 знижується до 0,21 – 0,41 мг/дм³, ризик солонцювання майже відсутній, а показник солей у воді 2,25 т/га знаходиться у межах норми.

При впровадженні інженерно-технологічних рішень для використання вод у безпечне зрошення та збереження родючості ґрунтів. Поетапна технологічна схема має складатися з механічної очистки, коагуляції/флокуляції при дозі коагулянту 30,7 мг/дм³, зворотного осмосу, пост-мінералізації та УФ-знезараження. Продуктивність установки на площі зрошенні 50 га – 150 м³/год. Кількість крапельниць на кожну секцію культур на 1 га – зернові = 33 333 од., технічні 55 555 од., овочеві 47 619 од., і тривалість поливу – 4,1 – 4,5 год. Для хімічної меліорації ґрунтів внесення дозу гіпсу 2,44 т/га один раз на 3-4 роки, при щорічній промивній

нормі 202,5 м³/га, що ефективно вимиває накопичення солей з кореневого шару. Необхідність у сучасному стані впровадження спеціальних систем датчиків вологості ґрунту, метеостанцій та сенсорів солоності, що при позитивній діяльності дозволяє знизити водоспоживання на 30 – 50 %.

При розрахунках по оптимізації енергоспоживання є еколого-економічна ефективність впровадження технологій де на капітальні витрати 50 га виходить 11,4 млн грн, що на 1 га – 228 тис. грн/га. При підвищеній врожайності соняшника на 40%, кукурудзи на 42% та гречки на 38%, виходить на рік 1 053 982 грн. З першого року прибуток буде – 283 412 грн, це без субсидій, а тільки вкладенні власних коштів, окупність настане вже на 9,3 рік.

При залученні грантових коштів з Фондів енергоефективності та програм ЄС де надходитиме 40 – 80 % співфінансування і окупність скорочується, а при спеціальних заходах енергооптимізації: сонячні панелі, рекуператори тиску і нічного тарифу є ймовірність знизити витрати на електроенергію на близько 80% і як правило у грошовому еквіваленті з 1 134 000 до 206 535 грн/рік. Також усі ці процеси дозволяють зменшити вторинне засолення чорноземів, ризик солонцювання і евтрофікації водойм.

При дослідженні усієї роботи можливо віднести основні рекомендації для БУВР річок Приазов'я та сільськогосподарського вирощування: розширення мережи моніторингових постів у нижній б'єфах річок, впровадження автоматизованого GIS-моніторинг якості води у реальному часі, у Плані управління річковим басейном який розроблений внести поправки для переходу на крапельне зрошення та закупівлю мобільних установок зворотного осмосу, впровадження регулярного гіпсування засолених ґрунтів та промивні поливи, зробити більш функціональну і структуровану нормативну базу з Директивою ЄС 2020/741 щодо використання вод у вторинне вживання, розробити регіональну програму адаптації зрошувального землеробства Приазов'я до змін клімату на період до 2030 – 2035 роки, розробити часткову компенсацію на 50%, що робить витрати менші, а у кінцевому результаті завдяки збільшенню обсягів культур є ймовірність покрити залишок компенсації і вийти на інший рівень при експортуванні культур, які

вироснуть лише на території України і отримання прибутку і також вартість обладнання для водопідготовки завдяки міжнародним грантам.

Мета кваліфікаційної роботи досягнута, де необхідність оцінки придатності поверхневих вод басейну річок Приазов'я для зрошення та обґрунтування сучасних технологій і використання в умовах зміни клімату є якісною і доцільною при проблемах і завдяки технологій, які вже існують та розробка майбутніх, опираючись на існуючі технологічні схеми.

Технологія «зворотній осмос + пост-мінералізація + крапельне зрошення» є найбільш технічно реалізованою, екологічно доцільною та економічно прибутковою, що зробить стабілізувати водокористування, зберегти родючість чорноземів і забезпечити сталий розвиток аграрного сектору Приазов'я навіть при подальших змінах аридизації клімату, воєнного впливу на водогосподарську інфраструктуру. Для степової зони Приазов'я комплексне поєднання гідрохімічного моделювання ризиків (WQI, SAR, RSC та K_3) з інженерно-технологічними обґрунтуванням робить системи гібридною при системі водопідготовки та крапельного зрошення. Розробка усіх процесів дозволить регіону бути енергооптимізованим, економічно ефективним, використання вод у фермерському господарстві, проектних організаціях та інших органах місцевого самоврядування при плануванні зрошувальних систем.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 2730:2015. Якість природної води для зрошення. Агрономічні критерії Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 34 с. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=62381
2. ДСТУ 3008:2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018. – 26 с. URL: https://op.edu.ua/sites/default/files/publicFiles/node_docs/3008-2015.pdf
3. ДСТУ EN ISO 5667-3:2025. Якість води. Відбирання проб. Частина 3. Настанови щодо зберігання та поводження з пробами Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2025. – 72 с. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=116549
4. Водний кодекс України : Закон України від 06.06.1995 № 213/95-ВР URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-вр>
5. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 25.06.1991 № 1264-XII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12>
6. Закон України «Про управління відходами» від 20.06.2022 № 2320-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20>
7. Закон України «Про стратегії України на період до 2050 року: розпорядження КМУ від 09.12.2022 № 1134-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1134-2022-%D1%80>
8. Наказ Мінрегіону України «Про затвердження Правил приймання стічних вод до систем централізованого водовідведення» від 01.12.2017 № 316.
9. Положення про басейнову раду річок Приазов'я. Державне агентство водних ресурсів України. URL: <https://davr.gov.ua/polozhennya-pro-basejnovu-radu-richok-priazovya1>
10. Басейнове управління водних ресурсів річок Приазов'я. Офіційний сайт. URL: <https://buvrzp.gov.ua/>

11. Запорізька обласна державна адміністрація. URL:
https://www.zoda.gov.ua/files/WP_Article_File/original/000228/228327.pdf
12. Аналізи донних відкладень з річки Дніпро та зразків ґрунту із Запорізької області, Україна URL:
<https://cleanair.org.ua/wp-content/uploads/2024/10/cleanair.org.ua-kachovka-ua-v4.pdf>
13. Охорона навколишнього природного середовища та раціональне використання природних ресурсів. Гідросфера. Відбір проб для визначення складу і властивостей стічних та технологічних вод URL:
https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=53448
14. План управління річковим басейном річок Приазов'я на 2025 – 2030 роки. Запоріжжя : Басейнове управління водних ресурсів річок Приазов'я. 2024. 180 с.
15. Звіт про моніторинг поверхневих вод басейну річок Приазов'я за 2024 рік / Басейнове управління водних ресурсів річок Приазов'я. Запоріжжя. 2025. 95 с.
16. Державне агентство водних ресурсів України. Моніторинг водних ресурсів. URL:
<http://monitoring.davr.gov.ua/EcoWaterMon/GDKMap/Index> та
<https://www.davr.gov.ua/>
17. Звіт про стратегічну екологічну оцінку проекту Плану управління річковим басейном річок Приазов'я (2025-2030)
<https://davr.gov.ua/fls18/tt6/ReportCEOPriazovya.pdf>
18. Гопченко Є. М., Лобода Н. С., Добровольська Н.В., Гідрологія з основами меліорації: підручник. Одеса : ТЕС, 2019. 384 с.
19. Даценко Л. М., Молодиченко В. В., Непша О. В., та ін. Північно-Західне Приазов'я: геологія, геоморфологія, геолого-геоморфологічні процеси, геоекологічний стан : монографія. Мелітополь : Вид-во МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2014. 308 с.

20. Ромащенко М. І., Балюк С. А., Сайко В. Ф., Комплекс протидеградаційних заходів на зрошуваних землях України / за наук. ред. С. А. Балюка, М. І. Ромащенко, В. А. Сташука. Київ : Аграрна наука, 2013. 112 с.
21. Ромащенко М. І., Балюк С. А., Сташук В. А., Адаптація зрошеного землеробства до змін клімату // Меліорація і водне господарство, 2023 № 1. 5-18 с.
22. Яцик А. В., Грищенко Ю. М., Волкова Л. А., Пашенюк І. А., Водні ресурси: використання, охорона, відтворення, управління : підручник. Київ : Генеза, 2017. 360 с.
23. Шевчук В. Я., Екологічна модернізація виробництва: концепція, стратегія, технологічні рішення. Київ : Геопринт, 2021. 284 с.
24. Гомеля М. Д., Грабітченко В. М., Технології захисту навколишнього середовища. Очищення стічних вод : підручник. Київ : Кондор, 2019. 450 с.
25. Петрук В. Г., Васильківський І. В., Петрук Р. В., та ін. Технології захисту навколишнього середовища. Ч. 2. Методи очищення стічних вод : підручник. Херсон : Олді-плюс, 2019. 298 с. – ISBN 978-966-289-249-9. URL: <https://lib.dsau.dp.ua/book/182103>
26. Петрук В. Г., Васильківський І. В., Петрук Р. В., та ін. Технології захисту навколишнього середовища. Ч. 4. Технології поводження з відходами харчових виробництв : підручник. Херсон : Олді-плюс, 2019. 520 с. URL: <https://lib.dsau.dp.ua/book/182105>
27. Приліпко С. І. та ін. Безвідходні технології харчових виробництв : підручник / за ред. С. І. Приліпка. Київ : Ліра-К. 2021. 400 с.
28. Рябець О. В., Поліщук С. В. Екологія харчових виробництв : навчальний посібник. Київ : НУХТ. 2020. 280 с.
29. Якименко М. О., Бондар О. С., Інженерна екологія в харчовій промисловості : навч. посібник. Одеса : ОНАХТ. 2022. 310 с.
30. Шмандій В. М. та ін. Захист навколишнього середовища : навч. посібник. Кременчук : КНУ. 2020. 312 с.

31. Смирнов В. О., Білецький В. С. Технології захисту навколишнього середовища в гірництві та переробці мінеральної сировини. Львів : Новий Світ-2000. 2022. 340 с.
32. Крупецька Ю. О. Використання модифікованих сорбентів для глибокого очищення стічних вод від сполук важких металів. Екологічні науки. 2023 № 2(47). 112-117 с.
33. Сафранов Т. А. Екологічні основи природокористування : навч. посібник. Львів : Вид-во ЛНУ. 2004. 248 с.
34. Сухенко Ю. Г., Серьогін О. О., Сухенко В. Ю., Рябоконт Н. В. Ресурсозберігаючі технології в харчових і переробних виробництвах : підручник / за ред. проф. О. О. Серьогіна. Київ : ЦП «КОМПРИНТ». 2016. 338 с.
35. Мальований М.С., Сакалова Г. В. Комплексні технології переробки багатокомпонентних промислових стоків // Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. 2022 № 1. 45-56 с.
36. Токарчук Д. М., Пришляк Н. В., Паламаренко Я. В. Стратегія поводження з відходами аграрних підприємств: раціональне поводження з відходами рослинництва, відходами тканин тварин, тваринним гноєм, агрохімічними відходами // Ефективна економіка. 2021 № 12. – DOI: 10.32702/2307-2105-2021.12.104.
37. Гончарук І. В., Вовк В. Ю. Постійний апарат категорії сільськогосподарські відходи їх класифікація та перспективи подальшого використання для виробництва біоенергії // Економіка, фінанси, менеджмент: актуальні питання науки і практики. 2020 № 3. 23-38 с. - DOI: 10.37128/2411-4413-2020.3.2.
38. Ковальчук П. І., Шевчук О. В. Вплив зміни клімату на водні ресурси півдня України // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2024 № 2(63). 32-45 с.
39. Вдовенко С. А., Гриб Л. М. Відновлення водних ресурсів басейну річок Приазов'я після воєнних руйнувань // Водне господарство України. 2024 № 3. 14-22 с.

40. Балюк С. А., Ромащенко М. І., Сташук В. А. Наукові основи охорони та раціонального використання зрошуваних земель України. Київ. 2009. 620 с.
41. Національна доповідь про стан та використання водних ресурсів, водопостачання та водовідведення в Україні у 2022 році. Київ : Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України. 2023. URL: <https://mindev.gov.ua/diialnist/napriamy/sfera-komunalnykh-posluh/tsentralizovane-vodopostachannia-ta-vodovidvedennia/natsionalna-dopovid-pro-iakest-pytnoi-vody-ta-stan-pytneho-vodopostachannia-v-ukraini>
42. Сніжко С. І., Шевченко О. Г., Дідовець Ю. та ін. Аналіз впливу кліматичних змін на водні ресурси України. Київ : ГО «Екодія». 2021. URL: <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2021/06/analiz-vplyvu-vodni-resursy-full.pdf>
43. Непша О. В. Гідрологічні особливості річок Північно-Західного Приазов'я. Екологічний шлях у майбутнє : матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. (Умань, 29-30.03.2012 р.). Київ : Науковий світ, 2012. 95-96 с.
44. Непша О. В., Сапун Т. О., Герасимчук С. М. Основні показники морфометрії та гідрологічного режиму річок Північно-Західного Приазов'я. Фізична географія та геоморфологія. 2019. URL: https://www.researchgate.net/publication/343140905_OSNOVNI_POKAZNIKI_MORFOMETRII_TA_GIDROLOGICNOGO_REZIMU_RICOK_PIVNICNO-ZAHIDNOGO_PRIAZOV'A
45. Ромащенко М. І., Шатковський А. П., Усата Л. Г. та ін. Методичні рекомендації з проведення польових досліджень за краплинного зрошення / за наук. ред. М. І. Ромащенка. Київ : ІВПіМ НААН. 2014. 46 с.
46. Шакірзанова Ж. Р., Перевозчиков І. М., Шевченко О. П. Застосування методу територіальних довгострокових прогнозів весняного водопілля 2022 – 2023 року в басейні р. Десна. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2023. URL: <https://uhmj.org.ua/index.php/journal/article/view/202>

47. Сіренко О. І., Коваленко М. В., Тарасенко Л. М. Вплив кліматичних змін на водний баланс південних регіонів України. Вісник аграрної науки. 2022 № 6. 45-53 с.
48. Яцик А. В. Водні ресурси України в умовах зміни клімату. Київ. Генеза. 2022. 428 с.
49. Калінін В. В., Лактіонов О. М. Вплив зміни клімату на водні ресурси Приазов'я // Водне господарство України. 2024 № 2. 34-45 с.
50. Хільчевський В. К. Водна політика та управління водними ресурсами в країнах світу : навч. посібник. Київ : ДІА. 2026. 344 с.
51. Мовчан С. І. Стан зрошення та його вплив на екологічний стан земель Запорізької області // Наукові праці Інституту водних проблем і меліорації. 2021. 45-58 с.
52. Буць І. І. Вплив глобальних змін клімату на гідрологічний режим річок Приазов'я. Чернівці. 2021.
53. Овчарук В. А. Наукові засади раціонального використання водних ресурсів України в умовах зміни клімату. Одеса. 2026.
54. Гребінь В. В. Проектування, інженерно-біотехнічне впорядкування та моніторинг водних об'єктів: навч. посібник. Київ : КНУ. 2021.

ДОДАТКИ

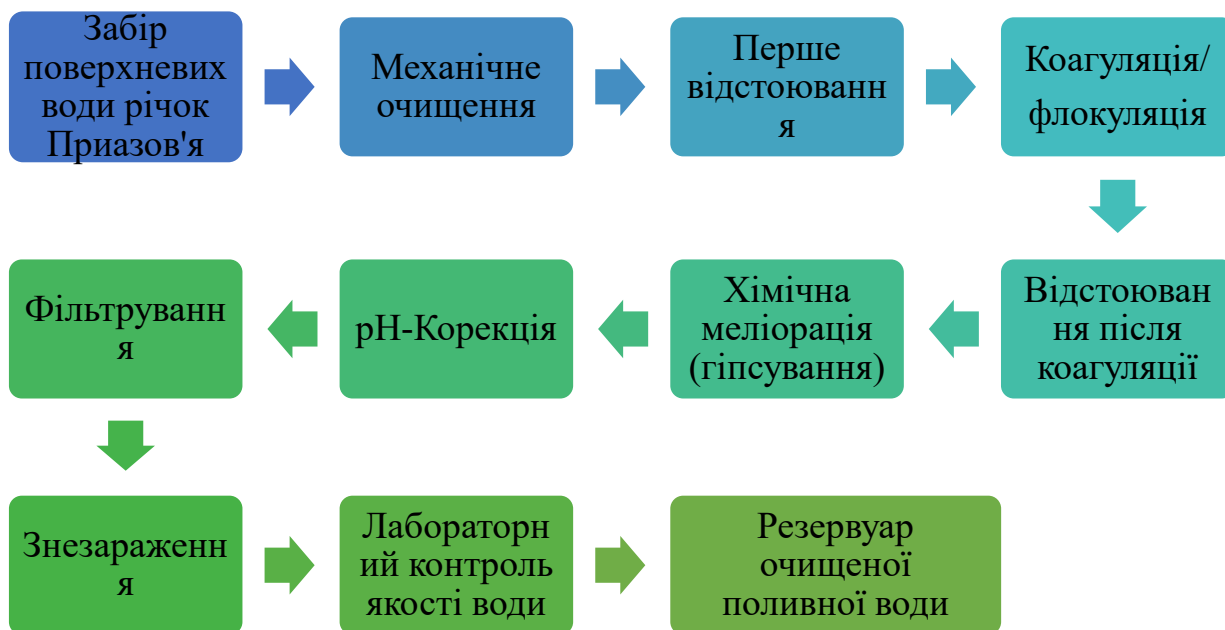


Рисунок А.1 - Технологічна схема водопідготовки поверхневих вод річок Приазов'я для зрошення

Основні етапи: 1 – забір поверхневих вод річок приазов'я (молочна, берда, обитічна, кальміус, міус та грузинський єланчик); 2 – механічна очистка поверхневих вод за допомогою основних конструкцій (решітки $\approx 16\text{--}20$ мм, сітки та горизонтальний піскоуловлювач); 3 – відстоювання (первинний відстійник, час відновлення 1,5 – 2 год., видалення осаду); 4 – коагуляція/флокуляція (додавання реагенту $Al_2(SO_4)_3$ або $FeCl_3$, швидкий змішувач, камера пластівцеутворення); 5 – відстоювання після коагуляції (вторинний відстійник, відстоювання 1 – 1,5 год.); 6 – хімічна меліорація (гіпсування) (доза - $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ норма 3 – 5 т/га або 0,5 – 2 г/л у поливній воді, необхідно для зниження sar та rsc); 7 – рН-корекція подача H_2SO_4 або CO_2 для норми від 6,5 – 8,4 за потреби; 8 – фільтрування (піщані фільтри або вугільний (активоване) фільтр; 9 – знезараження (уф-опромінення або хлорування 0,3 – 0,5 мг/л; 10 – лабораторний контроль якості води за дсту 2730:2015 / fao (мінералізація ≤ 1000 мг/дм³, $sar \leq 3,0$ мг-екв/дм³, $rsc \leq 1,25$ мг-екв/дм³); 11 – наповнення резервуару очищеною поверхневою водою.

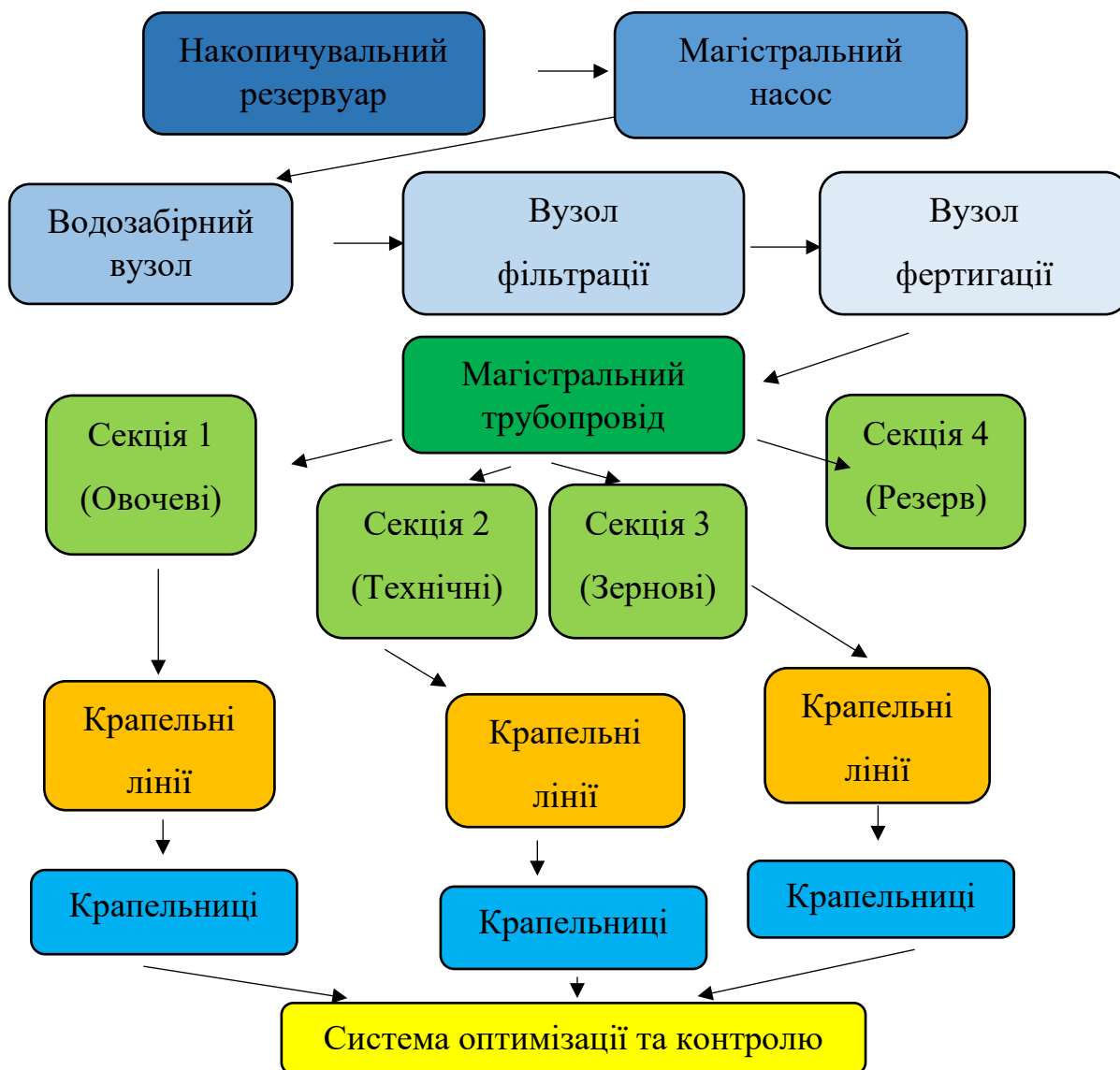


Рисунок Б.1 - Технологічна схема крапельного зрошення для умов Приазов'я

Основні етапи: 1 – накопичувальний резервуар (бак) з мінералізацією від 500 до 1000 мг/дм³, об'єм регульовального запасу на 1-2 доби; 2 – магістральний насос $Q_{\text{год}} = 150 \text{ м}^3/\text{год}$; 3 – водозабірний вузол, подача води від насоса з резервуара; 4 – вузол фільтрації (очищення води від механічних домішок – пісок, мул); 5 – вузол фертигації (система подачі разом з водою мінеральних добрив); 6 – магістральний трубопровід подача води на кожну секцію; 7 – розподіл необхідної кількості води на секції; 8 – крапельні лінії; 9 – крапельниці; 10 – система по оптимізації та контролю (датчики, метеостанція, контролер, витратоміри, програмне забезпечення).