

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет магістерської підготовки  
Кафедра екології та охорони довкілля

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА**

на тему: «Аналіз іригаційних властивостей вод Кілійського гирла Дунаю»

Виконала студентка 2 курсу групи МЕБ-19  
спеціальності 101- Екологія  
Студьонова Катерина Сергіївна

Керівник к.т.н., доцент  
Юрасов Сергій Миколайович

Рецензент д.геогр.н., професор  
Лобода Наталія Степанівна

Одеса 2021

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет магістерської підготовки  
Кафедра екології та охорони довкілля  
Рівень вищої освіти магістр  
Спеціальність 101-Екологія  
Освітньо-наукова програма Екологічна безпека  
(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри  
екології та охорони довкілля

Сафранов Т.А.  
« 15 » березня 2021 року

**З А В Д А Н Н Я**  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Студьоноій Катерині Сергіївні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Аналіз іригаційних властивостей вод Кілійського гирла Дунаю»

Керівник роботи Юрасов Сергій Миколайович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від "23" лютого 2021 року № 16 "С" п.п.-09

2. Строк подання студентом роботи 23 травня 2021 року

3. Вихідні дані до роботи: дані спостережень Одеського обласного управління водних ресурсів, нормативна та технічна література з питань охорони довкілля

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1. Фізико-географічна характеристика річки Дунай;

2. Гідрометеорологічна характеристика річки Дунай;

3. Загальні принципи оцінки іригаційних властивостей вод;

4. Детальна типізація іригаційних вод;

5. Оцінка іригаційних властивостей вод Дунаю;

6. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

1. Карта Кілійського гирла Дунаю;

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
	немає		

7. Дата видачі завдання 15 березня 2021 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Термін виконання етапів кваліфікаційної роботи магістра	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	<i>Фізико-географічна і гідрометеорологічна характеристика річки Дунай.</i>	15.03.2021-	90	5 (відмінно)
		20.03.2021-		
2	<i>Загальні принципи оцінки іригаційних властивостей вод. Детальна типізація іригаційних вод.</i>	21.03.2021-	90	5 (відмінно)
		31.03.2021-		
3	<i>Розрахунки іригаційних властивостей вод Дунаю за різними методиками</i>	01.04.2021-	90	5 (відмінно)
		18.04.2021-		
	<b>Рубіжна атестація</b>	19.04.2021-	90	5 (відмінно)
		24.04.2021-		
4	<i>Аналіз часової мінливості іригаційних властивостей вод Дунаю. Висновки.</i>	25.04.2021-	90	5 (відмінно)
		29.04.2021-		
5	<i>Узагальнення отриманих результатів. Підготовка електронної версії кваліфікаційної роботи магістра до передачі керівнику на остаточну перевірку і підпис</i>	30.04.2021-	90	5 (відмінно)
		04.05.2021-		
6	<i>Підготовка заключної версії кваліфікаційної роботи магістра і презентаційного матеріалу до публічного захисту. Передача на процедуру встановлення ступеня оригінальності і відсутності ознак плагіату. Складення керівником протоколу, висновку та авторського договору про розміщення кваліфікаційної роботи магістра в репозитарії.</i>	05.05.2021-	90	5 (відмінно)
		11.05.2021-		
	<b>Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)</b>		<b>90,0</b>	

(до десятих)

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

Студьонова К.С

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

(підпис)

Юрасов С.М.

(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

на кваліфікаційну роботу магістра Студьонової К.С. на тему: «Аналіз іригаційних властивостей вод Кілійського гирла Дунаю»

**Актуальність проблеми.** Проблема іригації сільгоспугідь півдня України у тому числі Одеської області була і залишається дуже актуальною. В даний час главою Одеської ОДА підписано меморандум з Державним агентством водних ресурсів України про реконструкцію частини радянських мереж «Нижньодністровської» зрошувальної системи. Ця система охоплює 25-30 тис. га земель, проте, це лише невелика частина угідь Одещини, для яких необхідне зрошення.

Обмеженість водних ресурсів іригаційної якості змушує утворювати штучні водойми для накопичення вод з метою їх подальшого використання для поливу. Джерелами підживлення водосховищ на півдні Одеської області як правило є Дунай і Дністер. Води цих річок відповідають іригаційним кондиціям. Але, як змінюються ці властивості протягом теплого періоду невідомо.

**Метою роботи** є оцінка іригаційних властивостей вод Дунаю і характеристик їх мінливості протягом теплого періоду року.

**Об'єкт дослідження** – якість вод Кілійського гирла Дунаю в районі м. Вилкове в теплий період року.

**Предмет дослідження** – оцінка мінливості іригаційних властивостей вод Кілійського гирла Дунаю.

**Завдання дослідження:** збір даних для фізико-географічної характеристики річки Дунай; збір даних для гідрометеорологічної характеристики річки Дунай; огляд існуючих методів оцінки іригаційних властивостей вод; детальна типізація іригаційних вод; збір даних спостережень за якістю вод р. Дунай-Вилкове і їх статистична обробка; розрахунки іригаційних властивостей за різними методиками; аналіз часової мінливості вод Дунаю та розробка висновків дослідження.

**Елементи наукової новизни** – запропоновано таблиця розрахунку концентрації токсичних гіпотетичних солей в різних підтипах вод, виконано аналіз мінливості іригаційних властивостей вод Дунаю 2001-2017 рр. полягають у детальному аналізі мінливості іригаційних властивостей вод річки Дунай.

**Матеріали і методидослідження.** Інформаційною базою досліджень послужили відібрані й опрацьовані матеріали спостережень за якістю вод річки Дунай, виконані Одеським обласним управлінням водних ресурсів з 2001 по 2017 роки, нормативна та технічна література з питань оцінки іригаційних властивостей вод.

Основними **методами досліджень** – є методи математичної статистики, порівняльний аналіз, картографічні і графоаналітичні дослідження.

У роботі отримано, що іригаційні властивості вод Кілійського гирла

Дунаю по всій його довжині можна вважати стабільними. Мінералізація вод гирла коливається в діапазоні 260-430 мг/дм<sup>3</sup>, середнє значення 312 мг/дм<sup>3</sup>.

За класифікацією Костякова А.Н. протягом усього теплоперіоду часу води відноситься до 1 класу – «добра» для поливу вода. За співвідношенням головних іонів води гирла відносяться до карбонатно-кальцієвих (100% ТП), підтипів Іа (39%) і ІІа (61%). Спільним для вод Іа і ІІа є здатність утворення в ґрунті солей  $NaCl$  і  $MgSO_4$ . Відмінність полягає у тому, що підтип Іа також утворює  $Na_2SO_4$ , а підтип ІІа –  $MgCl_2$ . Обидва підтипи містять  $Mg(HCO_3)_2$  – нетоксичну сіль, що сприяє лужної реакції ґрунту. Концентрація токсичних іонів змінюється в діапазоні 62-127 мг/дм<sup>3</sup> при середньому значенні 88 мг/дм<sup>3</sup>. Води Дунаю протягом усього теплоперіоду підходять для поливу усіх типів ґрунтів.

Води р. Дністер-с. Маяки мають мінералізацію 294-774 мг/дм<sup>3</sup>, середнє значення 446 мг/дм<sup>3</sup>, що в середньому в 1,4 рази вище мінералізації вод Дунаю. Протягом теплоперіоду 34% часу вони відносяться до 1 класу – «добра» для поливу вода і 66% до 2 класу – «потребує обережного підходу». За співвідношенням головних іонів води Дністра відносяться до класів карбонатних (86%) і сульфатних (14%) вод; груп кальцію (78%) і магнію (22%); підтипів Іа (64%) і Іб (36%). Підтип Іб на відміну від підтипу Іа замість  $Mg(HCO_3)_2$  містить другу нетоксичну сіль  $CaSO_4$  і тим самим сприяють утворенню у ґрунті гіпсу, який є меліорантом солонцюватих ґрунтів. Полив водами Дністра у 22% теплоперіоду може шкідливим за вмістом магнію і у 78% - полив не шкідливий. Води Дністра потребують обережний підхід.

Води Дунаю за мінералізацією і за співвідношенням головних іонів у цілому можна вважати еталонними річковими водами півдня Одеської області.

За темою кваліфікаційної магістерської роботи було опубліковано: стаття у фаховому виданні; тези доповідей на 7 Міжнародних науково-практичних конференціях; тези доповідей на конференції молодих вчених ОДЕКУ.

**Обсяг і структура роботи.** Кваліфікаційна магістерська робота викладена на 76 сторінках комп'ютерного тексту. Вона складається із вступу, переліку умовних скорочень, 6 розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Робота проілюстрована 17 таблицями і 4 рисунками. Список використаної літератури налічує 19 найменувань.

**Ключові слова:** іригаційна оцінка, якість вод, Кілійське гирло, мінливість показників, детальна типізація вод.

## SUMMARY

for the qualification work of Master Studenova KS on the topic: "Analysis of Irrigation Properties of the Waters in the Chilia Branch of the Danube Delta "

**The urgency of the problem.** The problem of irrigation of agricultural land in the south of Ukraine, including Odessa region, has been and remains very relevant. Currently, the head of the Odessa Regional State Administration has signed a memorandum with the State Agency of Water Resources of Ukraine on the reconstruction of part of the Soviet networks of the "Lower Dniester" irrigation system. This system covers 25-30 thousand hectares of land, however, this is only a small part of the lands of Odessa region, which require irrigation.

Limited water resources of irrigation quality forces to form artificial reservoirs for water accumulation with the purpose of their further use for irrigation. Sources of reservoirs in the south of Odessa region are usually the Danube and Dniester. The waters of these rivers correspond to irrigation conditions. But how these properties change during the warm period is unknown.

The aim of the work is to assess the irrigation properties of the Danube waters and the characteristics of their variability during the warm period of the year.

The object of research is the water quality of the Kiliya estuary of the Danube in the area of Vilkove in the warm period of the year.

**Subject of research** - assessment of the variability of irrigation properties of the waters of the Kiliya estuary of the Danube.

**Objectives of the study:** data collection for physical and geographical characteristics of the Danube river; data collection for hydrometeorological characteristics of the Danube river; review of existing methods for assessing the irrigation properties of water; detailed typification of irrigation waters; collection of data on observations of water quality of the Danube-Vilkove river and their statistical processing; calculations of irrigation properties by different methods; analysis of the temporal variability of the Danube waters and development of research findings.

**Elements of scientific novelty** - the table of calculation of concentration of toxic hypothetical salts in various subtypes of waters is offered, the analysis of variability of irrigation properties of waters of Danube 2001-2017 consists in the detailed analysis of variability of irrigation properties of waters of the Danube river.

### **Materials and methods of research.**

The information base of the research was selected and processed materials of observations of the water quality of the Danube River, performed by the Odessa Regional Department of Water Resources from 2001 to 2017, normative and technical literature on the assessment of irrigation properties of water.

The main research methods are methods of mathematical statistics, comparative analysis, cartographic and graphoanalytical research.

It is obtained in the work that the irrigation properties of the waters of the

Kiliya estuary of the Danube along its entire length can be considered stable. The mineralization of the estuary fluctuates in the range of 260 ? 430 mg/dm<sup>3</sup>, the average value is 312 mg/dm<sup>3</sup>.

According to the classification of Kostyakov AN during the whole warm period of time water belongs to the 1st class - "good" for watering water. According to the ratio of the main water ions of the mouth belong to the carbonate-calcium (100% TP), subtypes IIa (39%) and IIIa (61%). Common to waters IIa and IIIa is the ability to form *NaCl* and *MgSO<sub>4</sub>* salts in the soil. The difference is that subtype IIa also forms *Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>*, and subtype IIIa forms *MgCl<sub>2</sub>*. Both subtypes contain *Mg(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>* - a non-toxic salt that promotes the alkaline reaction of the soil. The concentration of toxic ions varies in the range of 62?127 mg/dm<sup>3</sup> with an average value of 88 mg/dm<sup>3</sup>. The waters of the Danube are suitable for watering all types of soils throughout the warm period.

The waters of the Dniester-Mayaky village have a mineralization of 294?774 mg/dm<sup>3</sup>, the average value is 446 mg/dm<sup>3</sup>, which is on average 1.4 times higher than the mineralization of the Danube waters. During the warm period, 34% of the time they belong to the 1st class - "good" for watering water and 66% to the II class - "requires a careful approach". According to the ratio of the main ions, the waters of the Dniester belong to the classes of carbonate (86%) and sulfate (14%) waters; groups of calcium (78%) and magnesium (22%); subtypes IIa (64%) and IIb (36%). Subtype IIb, in contrast to subtype IIa, contains the second non-toxic salt *CaSO<sub>4</sub>* instead of *Mg(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>* and thus promotes the formation of gypsum in the soil, which is an ameliorant of saline soils. Watering with the waters of the Dniester in 22% of the warm period can be harmful in terms of magnesium content and in 78% - watering is not harmful. The waters of the Dniester need a careful approach.

The waters of the Danube in terms of mineralization and the ratio of major ions in general can be considered a standard of irrigation waters in the south of Odessa region.

On the topic of the qualifying master's thesis were published: an article in a professional publication; abstracts of reports at 7 International scientific-practical conferences; abstracts of reports at the conference of young scientists of ODEC.

***Volume and structure of work.*** The master's thesis is presented on 75 pages of computer text. It consists of an introduction, a list of abbreviations, 6 sections, conclusions, a list of sources used, appendices. The work is illustrated by \_\_ tables and \_\_ figures. The list of used literature includes 19 items.

***Keywords:*** irrigation assessment, water quality, Kiliya estuary, variability of indicators, detailed typification of waters.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	9
ВСТУП .....	10
1 ФИЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА РІЧКИ ДУНАЙ	12
2 ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА РІЧКИ ДУНАЙ .....	22
3 ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ОЦІНКИ ІРИГАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ.....	28
4 ДЕТАЛЬНА ТИПІЗАЦІЯ ІРИГАЦІЙНИХ ВОД.....	47
5 ВИХІДНІ ДАНІ.....	54
6 ОЦІНКА ІРИГАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВОД ДУНАЮ	68
ВИСНОВКИ.....	71
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	73
ДОДАТОКИ.....	75



**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,  
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

ГДК – гранично допустима концентрація, максимальна кількість шкідливої речовини в одиниці об'єму або маси у водному, повітряному чи ґрунтовому середовищах, що майже не впливає на здоров'я людини;

ТП – теплий період;

$p\%$  – ймовірність;

$M_0$  – загальна мінералізація ;

$K$  – коефіцієнт;

$K_a$  – іригаційний (лужний) коефіцієнт Стеблера;

$ЗКН$  – залишкова карбонатність натрію;

$K_1, K_2, K_3$  – коефіцієнт Буданова;

$K_{II}$  – іригаційний коефіцієнт;

SAR – показник небезпеки осолонцювання ґрунту:

$K_{Na}, K_{Mg}$  – показник вмісту  $Na$  та  $Mg$  в ґрунті.

## ВСТУП

*Актуальність проблеми.* Проблема іригації сільгоспугідь півдня України у тому числі Одеської області була і залишається дуже актуальною. В даний час главою Одеської ОДА підписано меморандум з Державним агентством водних ресурсів України про реконструкцію частини радянських мереж «Нижньодністровської» зрошувальної системи. Ця система охоплює 25-30 тис. га земель, проте, це лише невелика частина угідь Одещини, для яких необхідне зрошення.

Обмеженість водних ресурсів іригаційної якості змушує утворювати штучні водойми для накопичення вод з метою їх подальшого використання для поливу. Джерелами підживлення водосховищ на півдні Одеської області як правило є Дунай і Дністер. Води цих річок відповідають іригаційним кондиціям. Але, як змінюються ці властивості протягом теплого періоду невідомо.

*Метою роботи є* оцінка іригаційних властивостей вод Дунаю і характеристик їх мінливості протягом теплого періоду року.

*Об'єкт дослідження –* якість вод Кілійського гирла Дунаю в районі м. Вилкове в теплий період року.

*Предмет дослідження –* оцінка мінливості іригаційних властивостей вод Кілійського гирла Дунаю.

*Завдання дослідження.*

1. Збір даних для фізико-географічної характеристики річки Дунай.
2. Збір даних для гідрометеорологічної характеристики річки Дунай.
3. Огляд існуючих методів оцінки іригаційних властивостей вод.
4. Детальна типізація іригаційних вод.
5. Збір даних спостережень за якістю вод р. Дунай-Вилкове і їх статистична обробка.
6. Розрахунки іригаційних властивостей за різними методиками.
7. Аналіз часової мінливості вод Дунаю та розробка висновків

дослідження.

**Елементи наукової новизни** – запропоновано таблиця розрахунку концентрації токсичних гіпотетичних солей в різних підтипах вод, виконано аналіз мінливості іригаційних властивостей вод Дунаю 2001-2017 рр. полягають у детальному аналізі мінливості іригаційних властивостей вод річки Дунай.

***Матеріали і методи дослідження.***

Інформаційною базою досліджень послужили відібрані й опрацьовані матеріали спостережень за якістю вод річки Дунай, виконані Одеським обласним управлінням водних ресурсів з 2001 по 2017 роки, нормативна та технічна література з питань оцінки іригаційних властивостей вод.

Основними *методами досліджень* – є методи математичної статистики, порівняльний аналіз, картографічні і графоаналітичні дослідження.

За темою кваліфікаційної магістерської роботи було опубліковано:

стаття у фаховому виданні;

тези доповідей на 7 Міжнародних науково-практичної конференціях;

тези доповідей на конференції молодих вчених ОДЕКУ.

***Обсяг і структура роботи.*** Кваліфікаційна магістерська робота викладена на 75 сторінках комп'ютерного тексту. Вона складається із вступу, переліку умовних скорочень, 6 розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Робота проілюстрована \_\_ таблицями і \_\_ рисунками. Список використаної літератури налічує 19 найменувань.

## 1 ФИЗИКО-ГЕОГРАФІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РІЧКИ ДУНАЙ

Річка Дунай є однією з найбільших річок Європи і прабатьківщиною зародження цивілізації. Дунай – священна річка слов'ян. Вона часто згадується в піснях, казки, легенди і переказах всіх слов'янських народів. Крім того, історія кельтів, фракійців, іллірійців і греків пов'язана з історією Дунаю. В давнину греки називали Дунай також, як фракійці, які жили біля берегів цієї річки – Істр. І тільки пізніше, вже в римське час за річкою закріпилося її сучасну назву, яке лунало і писалося як Данубий. У 7 столітті до Різдва Христового греки заснували на південь від дельти річки колонію і назвали її Істрія. Стародавні шукали витoki річки спочатку у Риф ейских гір. Потім далеко на півночі, а пізніше в країні кельтів в Герцинском лісі. Але вже в 15 році до Різдва Христова в правлінні Тиберія були встановлені дійсні витoki Дунаю: він починається на масиві нині називається Шварцвальд двома джерелами на висоті 1 кілометр. З часу правління Серпня Дунай став кордоном римського держави з північними варварами.

Басейн річки Дунай є серцевиною центру Європи, що охоплює територію 817 000 км<sup>2</sup>, на якій розташовані понад 15 Європейських країн, де живуть понад 80 млн. чоловік. Басейн р. Дунай включає всю Угорщину, більші частини Румунії, Австрії, Словенії, Хорватії та Словаччини; значні частини Болгарії, Німеччини та Чеської Республіки, Молдови та України. Території ФР Югославії, Боснії та Герцеговини, малі частини Італії, Швейцарії, Албанії та Польщі, що також входять до цього басейну. Немає в світі такої річки, як Дунай по відношенню до кількості національностей, які проживають у його басейні. Для них це – джерело води і важлива транспортна магістраль. Це унікальні за своєю красою місцевості, це зона відпочинку, історична пам'ять про героїчне минуле та сучасне. Дунай впадає до Чорного моря через дельту, яка є другою найбільшою природною водноболотною територією в Європі. Дунай належить до однієї з найбільших після Волги річок Європейського континенту.

Річка Дунай утворюється від злиття двох гірських струмків Бреге і Бриг, які беруть свій початок на східних схилах Шварцвальда, стікають в долину і зливаються в районі міста Донауешінген ( $47^{\circ} 56'$  північної широти і  $8^{\circ} 30'$  східної довготи). Загальна протяжність річки від місця злиття зазначених гірських струмків становить 2783,4 км, з яких 2414 км (від Кельхейма до Суліни) – судноплавні.

Відстань по річці Дунай від порту Суліна до порту Галац вимірюється в милях, а від порту Галац до порту Ульм в кілометрах. Рахунок милю починається у порту Суліна і закінчується в порту Галац, де стоїть останній 80-мильний стовп, далі вгору по річці виставлено 150-кілометровий стовп і т.д. Відстань по прямій між місцем злиття Бреге і Бриг і гирлом одно +1630 км, що відповідає коефіцієнту звивистості рівному 1,7.

Загальне падіння річки від місця злиття Бреге і Бриг становить 678 м; середній ухил дорівнює 25 см/км. Витрата води у Ізмаїльського Чатала в середньому становить  $6500 \text{ м}^3/\text{сек}$  (близько  $205 \text{ км}^3$  в рік).

Від місця злиття до селища Тутлінген (2747 км) річка Дунай тече в південно-східному напрямку, а потім змінює цей напрямок на північно-східне, зберігаючи його до міста Регенсбург (2379 км), де вона досягає самої північної точки своєї течії ( $49^{\circ} 03'$  північної широти). У міста Регенсбург річка Дунай відхиляється на південний схід, зберігаючи загальний напрямок до селища Гьонью (тисяча сімсот дев'яносто одна км). Від селища Гьонью річка Дунай тече на схід і в районі міста Вац (1679 км) круто повертає на південь. Південний напрямок річка Дунай зберігає до міста Вуковар (1333 км), звідки до селища Бачка Паланка (+1298 км) вона тече на південний схід, а потім до місця впадання річки Тиса (1214,5 км) – на схід. Від гирла річки Тиса до селища Арчар (771 км) річка Дунай, роблячи великі вигини, тече на південний схід, а далі бере східний напрямок, яке зберігає до міста Свиштов (554 км). У міста Свиштов річка Дунай досягає найпівденнішої точки своєї течії ( $43^{\circ} 38'$  північної широти) і далі, відхиляючись на північний схід, протікає в цьому напрямку до міста Чорнавода (300 км). Нижче міста

Чорнавода. Дунай тече в північному напрямку, а у місця впадання річки Сірет (155 км) плавно повертає на схід, зберігаючи в основному це напрямок до впадання в Чорне море.

У нижній течії річка Дунай, розгалужуючись, утворює велику болотисту дельту приблизною площею близько 5640 км<sup>2</sup>. Довжина дельти із заходу на схід 75 км, ширина з півночі на південь 150 км.

Дельта річки Дунай займає південну частину великої низовини, що виходить до Чорного моря. На захід від дельти річки Дунай лежать північні відроги Добруджської височини, а за ними розташована Нижньо-Дунайська низовина, що розділяє східні схили Карпат і Балкан.

Вершина дельти знаходиться біля мису Ізмаїльський Чатал, де основне русло спочатку ділиться на два гирла: Кілійське та Тульчинське. Тульчинське гирло біля мису Георгіївський Чатал розділяється на Георгіївське (праве) і Сулінське (ліве) гирла. Таким чином, річка Дунай впадає в Чорне море трьома основними гирлами: Кілійським (північним), Сулінським (середнім) і Георгіївським (південним); з них Кілійське та Георгіївське мають свої другорядні гирла.

Кілійське гирло від мису Ізмаїльський Чатал до селища Пардіні протікає за єдиним руслу спочатку на північний схід, а нижче Ізмаїла на південний схід. Від селища Пардіні до міста Вилкове Кілійське гирло двічі розгалужується на другорядні рукава, які потім знову з'єднуються в одне русло.

Рукав Суліна мало звивистий і не розгалужується; він тече на схід і впадає в море в порту Суліна. Найбільші місцевості на цьому рукаві – Малюк, Горгова, Кришан і Суліна.

Рукав Св.Георга утворює великі закрути і тече на південний схід, а за 5 км до гирла він розгалужується на 5 рукавів, створюючи побічну дельту. Найбільші місцевості на цьому рукаві: Махмудія, Мурігіол, Дунавец і Св.Георга.

Водні ресурси р.Дунай формуються в основному в гірських районах

Альп, Карпат і Балкан. Приблизно одна третина басейну річки Дунай це – гори, а інші дві третини – пагорби та рівнини. Середня висота басейну річки над рівнем моря, всього 475 м., але максимальна різниця висоти між низинами та альпійськими піками приблизно 3 000 метрів.

Середня протягом Дунаю починається від Відня.

Дунай перетинає Середньо дунайський поділ і тут отримує свої найбільш великі притоки. З Альп сходять Раба, Драва з припливом Мур, Сава, а з Карпат – Нітра, Грон і найбільша притока Дунаю – Тиса.

Взимку на низовини бувають морози і сніг, а літо печеня, особливо в другій половині. Дунай в зимові місяці замерзає, хоча не кожен рік і не на тривалий період. Навесні спостерігається максимум рівня води у зв'язку з таненням снігу. Цей максимум розтягується на першу половину літа, оскільки посилюється Альпійським паводком. У другій половині літа під впливом сильного випаровування знижується рівень води і Дунай навіть міліє. Восени настає новий підйом рівня у зв'язку з дощами.

Наступний ділянку течії Дунаю проходить через Карпати, де річка утворює вузьку долину, звану Залізними Воротами. За вихід із Залізних Воріт Дунай тече по Нижнедунайській низовини до впадіння в Чорне море, отримуючи притоки, що стікають з Карпат і Балкан. Найбільші з них – Карпатські річки: Олт, Яломица, Сірет. На низовині гирло Дунаю, звана Балтою, дуже широка. Основне русло річки супроводжується масою проток і стариць. При впадінні в Чорне море в межах дельти русло Дунаю розпадається на рукави, звані гирлами. Тільки середнє, Сулинське гирло судноплавне. Інші два недоступні для суден з-за численних мілин і піщаних барів.

Басейн річки Дунай пересічений двома гірськими ланцюгами, які поділяють його на три частини. Перша гірський ланцюг починається від гір Високий Тауерн, у піку Грос-Глокнер висотою 3798 м і включає гори низький Тауерн, Шнеберг, Ракс, Земмеринг, Лайта і з'єднується через Малі Карпати і Білі Карпати з Західними Бескидами. Річка Дунай проривається

через цю гірську ланцюг біля селища Девін, утворюючи так звані Девінська Ворота. Друга гірський ланцюг починається на Балканах і з'єднується з Південними Карпатами. Через цей гірський ланцюг річка Дунай протікає на ділянці між Молдова-Столітті і Турну-Северин по лівому березі і Вінце та Костоло по правому березі, утворюючи проходи, звані Залізні Ворота.

Таким чином, починаючи від високогірних районів східних схилів Шварцвальда і закінчуючи низовиною біля Чорного моря, річка Дунай перетинає різні ландшафтні зони з яскраво вираженим різноманітністю природних умов.

За комплексом фізико-географічних і геологічних ознак річку Дунай прийнято розділяти на наступні три частини: Верхній - від витоків до Гьонью, Середній – від Гьонью до виходу з Залізних Воріт; Нижній – від Залізних Воріт до гирла.

Верхній Дунай (2783-1791 км) на більшій своєму протязі тече в гірській області, утвореної зліва Швабській і Франконской Юрою, Баварським і Чеським Лісом, а праворуч – Швабсько-Баварським плоскогір'ям і Передальпи Східних Альп.

За характером долини русла і водного режиму Верхній Дунай носить гірський характер. Долина річки тут переважно вузька і глибока з крутими мальовничими схилами; нижче міста Пассау долина представляє чергування вузьких ділянок з широкими. Береги переважно круті; в межах передальпійського плато русло врізане в потужні відкладення аллювія, принесеного багатоводні альпійськими притоками річки Дунай, найбільш значними з яких є Іллер, Лех, Ізар, Інн, Траун, Енс.

Русло на більшій своєму протязі звивисте, місцями з крутими закрутами, і на ділянках розширення воно має розгалужений і нестійкий характер, рясніючи при цьому великою кількістю мілин і перекатів. З метою поліпшення умов плавання суден проведені роботи з будівництва паралельних дамб і траверсів, які перекривають другорядні рукава, зменшуючи роздробленість водного потоку, а також з будівництва



струмененапрямних дамб (бун). Крім того, на окремих ділянках річки скелясті виступи, пороги і перекати, які створювали перешкоди для судноплавства, усунуті створенням гідроспоруд Бад-Аббах– 2401,72 км, Регенсбург– 2381,32 км, Гейслінг– 2354,30 км, Штраубінг– 2329,78 км, Кахлет– 2230,7 км, Йохенштейн– 2203,33 км, Ашах– 2162,67 км, Оттенсгейм–Вільхерінг– 2146,91 / 2146,73 км, Абвінденасто– 2119,63 / 2119,45 км, Вальзее–Міттеркірхен– 2095,62 / 2094,50 км, ІХС –Перзенбейг– 2060,42 км, Мельк– 2038,16 / 2037,96 км, Альтенвєрт– 1980,40 / 1979,83 км, Грейфенштейн– 1949,23 / 1949,18 км, Фрєйденау– 1921,05 км).

Гідроспоруда Габчіково побудовано на 8,15 км дериваційного каналу, який відгалужується від основного русла Дунаю на +1853 км і входить в старе русло на 1811 км. (Ось гідрокомплексу відповідає 1819,15 км Дунаю.).

Ширина змінюється у відносно невеликих межах від 40 до 100 м на ділянці Кельхейм–Йохенштейн і від 130 до 420 м на ділянці Йохенштейн–Гьонью.

Глибини змінюються нерівномірно, а на ділянках, де внаслідок розширення долини річки і у русла утворюються перекати, вони постійно змінюються. Найменші глибини на нешлюзованих ділянках складають при НСРУ 2,00 м, а на ділянках, де створено підпір – 2,7 - 2,8 м.

Швидкість течії змінюється нерівномірно і при середніх рівнях води становить від 3,0 до 10,0 км/год.

Від міста Кельхейм вниз починається регулярний рух суден, і в даний час це місто практично вважається верхнім початковим пунктом судноплавства на річці Дунай.

Середній Дунай (1791-931 км) в основному тече по Великій Середньо-Дунайській низовині і за винятком ділянок Вишеградських і Залізних Воріт носить характер рівнинної річки.

На рівнинних ділянках долина річки Дунай широка (5 - 20 км) з заплавами, порізаними лабіринтом другорядних рукавів. Русло з низькими пологими берегами і переважно піщаним дном.

На ділянці прориву річки через гори долина її вузька (0,6 - 2,5 км), берега русла і схили долини високі, частково скласти. Русло тут має кам'янисте дно, а місцями виступають пороги.

На більшій своєму протязі русло Середнього Дунаю звивисте, але протяжність прямолінійних ділянок і радіус кривизни закрутів тут значно більше, ніж на Верхньому Дунаї. Русло має нестійкий характер, розгалужуючись на велику кількість другорядних рукавів, і рясніє мілинами і перекатами.

Для поліпшення навігаційних умов плавання в руслі проведені роботи з будівництва паралельних дамб і траверсів і з будівництва струмененапрямних бун (дамб). Ці роботи виконані переважно до селища Рогатин, а нижче, внаслідок збільшення габаритів поперечного профілю річки, частково виконані роботи тільки по перекриттю поперечними дамбами входів в окремі рукава, по зміцненню берегів і по випрямленню крутих закрутів прорізами.

Ширина русла на регульованих ділянках коливається в невеликих межах, складаючи 300 - 420 м, а там, де русло нерегульоване, воно змінюється у великих межах, складаючи 400 - 2200 м. Найменша ширина русла в 210 м зазначається в ущелині Казани (Залізні Ворота) .

Глибини на ділянці Середнього Дунаю, внаслідок нестійкості русла, коливаються у великих межах, а на перекатах постійно змінюються. Мінімальні глибини на перекатах при низьких рівнях води в середньому змінюються від 1,9 до 2,1 м.

На шлюзованих ділянках мінімальна глибина – 35 дм.

У зв'язку з різкими змінами ухилу річки, швидкість течії Середнього Дунаю змінюється у великих межах і становить при середніх рівнях води 3,6 - 4,8 км/год на ділянці Гьонью– Белград, на ділянці Белград – шлюз Залізні Ворота – 0,4 - 3,0 км/год, шлюз Залізні Ворота – Турну-Северин – 6,5 - 9,0 км/год.

Нижній Дунай (931-0 км) майже на всьому своєму протязі тече вздовж

південній частині Нижньо-Дунайської низовини, яка, полого підвищується до периферії, переходить в передгір'я Карпат. На сході Нижньо-Дунайська низовина переходить в Добруджської височини, часто звану нагір'ям Добруджа або просто Добруджа. На південь від Дунаю простягається Болгарське плато – область з яскраво вираженою цілісністю і однорідністю географічного ландшафту. Плато злегка знижується до річки Дунай, обриваючись до нього уступами. У нижній течії річки Нижньо-Дунайська низовина звужується з півночі відповідними відрогами Молдавської височини, а з півдня – Добруджей. Далі низовина розширюється і переходить в болотисту дельту, що прорізає густою мережею рукавів і озер. Уздовж цих утворень тягнуться широкі берегові вали, звужуються у напрямку до моря і переходять на його дні в піщані мілини.

За характером долини, русла і водного режиму Нижній Дунай є типово вираженою рівнинною річкою. Долина річки широка з переважною шириною до міста Турну-Мегуреле (597 км) 7 - 10 км, а нижче до дельти – 8 - 20 км. Найбільша ширина – 28 км (нижче міста Хиршова (253 км), найменша ширина 3 - 4 км (поблизу міст Свиштов (555 км), Джурджу (493 км) і селища Орловка (105,3 км). Правий берег долини – високий, лівий – низький. Русло річки переважно малозвивисте, з плавними закрутами і значними по довжині прямолінійними ділянками.

Протягом всього течії русло неодноразово розгалужується на велику кількість другорядних рукавів, утворюючи безліч островів. Другорядні рукава носять переважно проточний характер, тому що не перекриті гідротехнічними спорудами. Найбільшого свого розвитку рукава досягають між містами Сілістра (376 км) і Браїла (170 км) і в гирлових ділянках Кілійського і Георгіївського гирл.

Біля мису Ізмаїльський Чатал (79,63 км) розташована вершина дельти; тут головне русло Дунаю розгалужується на два гирла: Кілійське та Тульчинське.

Кілійське гирло від місця свого відгалуження до 76 км (рахунок

кілометрів по Кілійському гирлу йде від його гирлової частини до мису Ізмаїльський Чатал), протікаючи переважно серед низинних берегів, має великі вигину: спочатку воно тече в північно-східному і південно-східному напрямках, а потім у міста Вилкове приймає східний напрямок. До селища Пардіні гирло має одне русло, а далі до міста Кілія воно розгалужується на три рукави: Кілійський, Середній і Татару (Іванешть), утворюючи досить складну водну систему, яка потім знову об'єднується в одне русло.

На ділянці між 38 км і селищем Переправа Кілійське гирло знову розгалужується на рукави Бабина, Чорнівка, Прямий і Соломонів, а нижче міста Вилкове впадає в Чорне море кількома гирлами, головними з яких є Очаківське і Старо-Стамбульське.

Тульчинське гирло шириною від 200 м (42,5 милі) до 550 м (41 миля), звивисте, з крутими закрутами, особливо в районі міста Тульча, простягається до мису Георгіївський Чатал (62,97 км) і тече переважно серед низинних берегів, за винятком ділянки між 39 - 38 милями, де до нього справа підходять відроги Добруджской височини, на яких розташоване місто Тульча (71,3 км).

Біля мису Георгіївський Чатал – 34 миля – Тульчинське гирло розгалужується на Сулинське (ліве) і Георгіївське (праве) гирло. Сулинське гирло протяжністю 34 миль (63 км) має ниці берега, які на більшій своєму протязі облицьовані каменем. Ширина його змінюється в невеликих межах і в середньому становить 120 м. Більшість другорядних рукавів перекрито, а круті вигину випрямлені прорізами.

У гирлової частини гирла розташований порт Суліна (0 км). Для виходу в море через Сулинський бар від гирлової частини Сулинського гирла в море відходить канал, утворений двома молами: Північним і Південним. Канал спочатку має східний напрямок, а потім плавно згинається на південний схід.

Основний судноплавний фарватер р. Дунай проходить по території Сулинського гирла, яке в результаті проведених гідротехнічних робіт

перетворено в майже прямолінійний канал, доступний для морських судів.

Ширина русла внаслідок розгалуженості вкрай непостійна і коливається в значних межах.

Глибини відчують коливання, падаючи на перекатах в період водопілля до 15 дм.

Створенням підпору на нижньому Дунаї між Прахово і Турну-Северин був утворений шлюзований ділянку з мінімальними глибинами в 35 дм.

До виконання гідротехнічних робіт водоносність в Кілійському, Сулінському й Георгіївському гирлах відповідно становила 62%, 8% і 30%.

З метою забезпечення проходу морських суден з моря в Дунай через Сулинське і Тульчинське гирла були проведені гідротехнічні роботи. У верхнього входу в Тульчинське гирло біля мису Ізмаїльський Чатал була споруджена кам'яна дамба довжиною 430 м. Сулинське гирло спрямлено десятьма прорізами, скорочують його довжину з 84,87 км до 62,97 км (зменшення на 21,9 км). У ньому споруджені буни і береги укріплені кам'яними настилами. Крім того, у гирла Сулинського гирла побудовані північний і південний моли, які внаслідок просування наносів у напрямку до моря поступово нарощуються. Довжина кожного молу – 7932 м (1983 р).

Для підтримки глибин в 24 фути на обмежують судноплавство ділянках, особливо на барі, щорічно проводяться гідротехнічні та землечерпальні роботи.

Здійснювані заходи забезпечують нормальні умови для входу суден з осадкою в 24 фути з моря до міста Браїла.

Швидкість течії коливається між 6,3 км/год при високому судноплавному рівні і 2 км/год (Браїла - Суліна) – при низькому судноплавному рівні.

## 2 ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА РІЧКИ ДУНАЙ

Басейн річки Дунай розташований в помірнотеплому поясі. Своєрідність рельєфу басейну призводить до утворення окремих кліматичних зон, різко відрізняються за своїми характеристиками один від одного. Так, наприклад, в гірських районах літо значно коротше і прохолодніше, ніж в долинах. У долинах опадів випадає в 4 - 5 разів менше, ніж в гірських районах. Висока температура повітря і мала кількість опадів призводять до засух в долинах річок.

За особливостями клімату басейн річки Дунай можна розділити на три частини.

Басейн Верхнього Дунаю відрізняється порівняно суворим кліматом. Тривалість зими зазвичай три місяці (XII-II). Середня температура січня на рівнині від  $-0,8^{\circ}$  до  $-3^{\circ}\text{C}$ ; в горах від  $-6$  до  $-13^{\circ}\text{C}$ . Морози досягають  $-20^{\circ}\text{C}$ , а в окремі роки в улоговинах в нічний час температура може знижуватися до  $-30^{\circ}\text{C}$ . Літо спекотне. Середня температура липня від  $17$  до  $20^{\circ}\text{C}$ , максимальна температура досягає  $36 - 38^{\circ}\text{C}$ . У горах температура знижується на  $0,5 - 0,6^{\circ}\text{C}$  на кожні  $100$  м висоти.

Басейн Середнього Дунаю відрізняється посушливим континентальним кліматом. Літо триває  $4,5 - 5$  місяців. Середня температура липня від  $20$  до  $23^{\circ}\text{C}$ , максимальна досягає  $39^{\circ}\text{C}$ , що разом з незначною вологістю і малою кількістю опадів створює умови для виникнення посухи. Тривалість зими  $1,5 - 2$  місяці. Середня температура січня на рівнині від  $-0,3$  до  $-2^{\circ}\text{C}$ , мінімальна  $-30^{\circ}\text{C}$ ; в горах середня від  $-5$  до  $-9^{\circ}\text{C}$ , мінімальна  $-34^{\circ}\text{C}$ .

Басейн Нижнього Дунаю характеризується ще більш посушливим континентальним кліматом з дуже жарким літом і холодною зимою. Середня температура січня від  $-2$  до  $-6^{\circ}\text{C}$ . Мінімальна температура досягає від  $-30$  до  $-35^{\circ}\text{C}$ . Влітку температура повітря має великий добовий хід, що досягає іноді  $15 - 20^{\circ}\text{C}$ . Середня місячна температура липня від  $20$  до  $30^{\circ}\text{C}$ , максимальна

від 40 до 42°C.

Вітри. У басейні річки Дунай на характер вітрів істотний вплив роблять напрямки гірських хребтів і долин. Пануючими вітрами в холодну пору року в верхів'ях річки Дунай є вітри західної і північно-західній чвертей, в середній частині річки Дунай – східний і південно-східний, а в нижній частині – південно-західний і східний. У теплу пору року напрямок пануючих вітрів більш постійно і в основному доводиться на західну чверть. Крім того, в басейні річки Дунай спостерігаються вітри місцевої освіти з добовою періодичністю: горнодолинні вітри, бризи, фьон, "неміряно" і "кошава", що досягають в окремих районах великий сили. Зазвичай в басейні Дунаю переважають вітри з малою швидкістю (4 м/с) і штилі. Кількість вітрів зі швидкістю понад 10-15 м/с. становить 1-5%. Найбільш сильні вітри спостерігаються взимку.

Тумани і видимість. Розподіл туманів в басейні річки Дунай нерівномірно. Найбільше число днів з туманами спостерігається в гірських районах. В долині річки Дунай вони найчастіше виникають у районах лощин і боліт. Найбільш часті тумани на Нижньому Дунаї в холодну пору року. Середня кількість днів з туманом на Нижньому Дунаї дорівнює 50 - 60 за рік. На Середньому Дунаї їх в два рази менше. Тумани найчастіше виникають навесні і восени під ранок і розсіюються в першій половині дня.

На видимість в басейні річки Дунай негативно впливають, головним чином, тумани, зливи, пилові бурі і хуртовини. В середньому в рівнинних частинах басейну видимість дорівнює 10 км з деяким погіршенням в холодну пору року.

Опади. Опади по території розподіляються нерівномірно. Зі збільшенням висоти кількість опадів зростає. Середня річна сума опадів на рівнині становить 500 - 600 мм, в Карпатах – 1000 - 2000 мм, в Альпах – 1800 - 2500 мм і вище. Число днів з опадами змінюється від 70 до долині до 220 в горах. Найменша кількість опадів випадає в приустьєвій частині Дунаю. Були роки, коли тут протягом усього літа опади не випадали. У теплу пору року в

басейні часто спостерігаються опади зливогого характеру великої інтенсивності. Мінімум опадів припадає на осінь і зиму; за винятком Дінарських Альп, де він спостерігається влітку. Найбільша кількість опадів випадає влітку (в Дінарських Альпах – взимку).

Площа водозбору і гідрографічна мережу. Басейн річки Дунай має асиметричну форму. 56% площі водозбору доводиться на частку лівобережних приток і 44% – на частку правобережних. У верхів'ях Дунаю збільшення площі водозбору відбувається за рахунок дрібних річок і струмків. Безпосередньо вище гирла р.Іллер (2588 км) вона досягає 5384 км<sup>2</sup>, а безпосередньо нижче гирла вона досягає 7530 км<sup>2</sup>. Безпосередньо вище гирла р. Інн (2225 км) вона досягає 50570 км<sup>2</sup>, безпосередньо нижче гирла вона досягає 76605 км<sup>2</sup>, далі у г.Оршова (955 км) досягає 576000 км<sup>2</sup>. Вся площа водозбору становить 817000 км<sup>2</sup>.

Річка Дунай має густо розвинену мережу приток кількістю понад 120, з яких 34 судноплавних.

Живлення річки і режим рівнів. Живлення річки Дунай відбувається за рахунок танення снігів, рідких опадів і ґрунтових вод. Річка бере по шляху притоки з різними умовами харчування. Верхній Дунай харчується переважно за рахунок сніготанення в Альпах, в основному влітку, і рідких опадів. Притоки Середнього Дунаю приносять воду від весняного сніготанення в Карпатах (Тиса) і рідких опадів влітку. Восени, під час посушливого періоду, і взимку Середній Дунай харчується підземними водами.

Нижній Дунай в основному є транзитним ділянкою, що несе воду зверху. Частково тут додається вода за рахунок танення снігів в Карпатах, а частково – за рахунок рідких опадів. Також як і на Середньому Дунаї, восени і взимку поповнення річки збільшується за рахунок ґрунтових вод.

Перераховані вище особливості харчування Дунаю визначають характер режиму рівнів.



Верхів'я Дунаю характеризуються різкими пікоподібними коливаннями рівня води, максимальними влітку і мінімальними взимку.

На Середньому Дунаї паводки, що приходять зверху, розпластуються і мають більш плавний характер. Тиса і Сава кілька змінюють режим рівнів Дунаю. Додаються нові великі паводки, викликані в основному зливами в Дінарських Альпах і стійкими хвилями весняного водопілля за рахунок сніготанення в Карпатах.

Для Нижнього Дунаю характерні плавні коливання рівнів, обумовлені трансформацією хвиль, що сформувалися на Верхньому і Середньому Дунаї.

Найвищі річні рівні води можуть бути в будь-якому місяці року, проте на Верхньому і Середньому Дунаї найчастіше вони наступають влітку, а на Нижньому Дунаї – навесні.

Найнижчі річні рівні спостерігаються в період, коли основне живлення річки відбувається за рахунок підземних вод, зазвичай восени або взимку.

Амплітуда коливання рівня води змінюється по довжині річки в широких межах. В обмежених гірських районах вона досягає 10 м. Такі ж значення відзначаються в місцях утворення льодових заторів.

На рівнинних ділянках з широкою заплавою амплітуда становить 3 - 5 м, зменшуючись до гирла Дунаю до 1 - 1,5 м.

Температура повітря. Температурний режим в басейні Дунаю обумовлюється в основному характером циркуляції повітряних потоків і особливостями рельєфу місцевості, внаслідок чого вплив географічної широти зводиться до ролі другорядного фактору.

Температура води. Температура води р. Дунай змінюється як за часом року, так і за своєю протяжністю зверху вниз і в будь-якому живому перетині не є постійною. Це пов'язано перш за все з температурою навколишнього повітря, сонячною радіацією, а також з температурою вод, що живлять Дунай.

Зміни температури води слідує за змінами температури повітря, але внаслідок великої теплоємності води в першу половину

безльодовикового періоду температура повітря в басейні буває вище температури води Дунаю, в другу – нижче. Середні річні температури води річки Дунай завжди вище середніх річних температур повітря басейну, так як в зимовий час температура води ріки не знижується нижче нуля, в той час як повітря має негативні температури.

Максимальна температура води річки Дунай спостерігається в липні - серпні і дорівнює в середньому 18 - 19°C на ділянках Верхнього Дунаю і 24 - 26°C на Нижньому Дунаї.

Температура повітря по довжині річки підвищується, відповідно до чого підвищується температура води Дунаю, однак зміни температури води по довжині річки менш значні, ніж зміни температури повітря.

Льодовий режим. Характерною особливістю льодового режиму Дунаю є крайня нестійкість льодових фаз і різний час їх настання. Бувають роки, коли по всій річці не спостерігалася льодоставу або коли в одному місці льодові явища спостерігалися, а в іншому немає. Імовірність настання льодових явищ коливається в межах від 70 до 90%.

Освіта льоду на Дунаї може відбуватися на Верхньому і Середньому Дунаї з початку грудня до кінця лютого. Очищення річки від льоду в роки з льодовими явищами може відбуватися в період з кінця грудня до середини березня на Верхньому Дунаї і з початку січня до кінця березня на Середньому та Нижньому Дунаї.

Людство спостерігається не щороку. Найменша ймовірність його настання відзначається для Верхнього Дунаю (5 - 30%). У цьому районі часті повторні замерзання і розкриття протягом однієї зими. Для Середнього Дунаю ймовірність льодоставу підвищується до 25 - 50%, а на нижньому Дунаї вона становить 40 - 75%. Повторні замерзання і розкриття тут рідкісні.

Як весняний, так і осінній льодоходи супроводжуються нагромадженнями льоду на берегах, заторами, нерідко приводять до різкого підйому рівня води, затоплення прибережних районів і руйнування дамб і портових споруд.

Тривалість безльодовикового періоду в середньому дорівнює 345 дням для Верхнього і Середнього Дунаю і 330 дням – для Нижнього Дунаю. Мінімальна тривалість безльодового періоду спостерігалася на більшій частині Середнього Дунаю в 1947 році – 275 днів.

### 3 ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ОЦІНКИ ІРИГАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ

Іригація – поширена і необхідна сільськогосподарська практика, оскільки вода – важливий фактор для росту рослин, поряд з наявністю світла і тепла. У деяких регіонах часті дощі забезпечують достатню кількість опадів. Тим не менше, більшість сільськогосподарських угідь потребують регулярного штучного зрошення.

Зрошення або іригація – це додатковий полив на тих територіях, де природних опадів недостатньо. Зрошення грає важливу роль в розвитку культур і підвищення їх врожайності.

Зрошення (іригація) – підведення води на поля, що відчувають нестачу вологи, і збільшення її запасів в кореневмісному шарі ґрунту з метою збільшення родючості ґрунту. Зрошення, разом з осушенням, є основним видом меліорації – гідротехнічних. Зрошення покращує постачання коренів рослин вологою і поживними речовинами, знижує температуру приземного шару повітря і збільшує його вологість.

Зрошувальна система – територія, на якій розташовані гідротехнічні (водозабірні і водонапірні споруди, канали, трубопроводи) і експлуатаційні (дороги, мости) споруди, що забезпечують її зрошення, бувають відкриті і закриті. Зрошувальні системи в загальному випадку складаються з декількох компонентів:

Вододжерела – річка, ставок, водосховище, свердловина, що забезпечують необхідний обсяг води.

Водозабірних споруд – регулює забір води в систему.

Мережа лінійних водопровідних пристроїв – канали, лотки, трубопроводи.

Поливна мережа і пристрої – безпосередньо поливні смуги, борозни, чеки, яруси, поливні машини і пристрої.

Водозбірноскидна мережа – для збору і відводу поверхневого стоку з

ділянки.

Дренажна мережа – для регуляції рівня підземних вод і відведення солей.

Допоміжні споруди – для регулювання напору, витрати і об'єму води, очисні споруди тощо.

Інфраструктура – дороги, лісосмуги, споруди енергопостачання, виробничі і житлові будівлі, ставки-накопичувачі та ін.

Відповідно, можна виділити кілька типів зрошувальних систем в залежності від застосовуваних компонентів. Наприклад, якщо в якості водозабірної споруди використовуються насосні станції, то система є з механічним водопідйому, на відміну від самопливної системи. За типом відкритості можна розрізнити системи відкриті, де використовуються канали та лотки і закриті, де використовуються трубопроводи. Також системи розрізняються за способом поливу: поверхневого поливу, дощувальні, рисові, лиманного, крапельного або внутрішньогрунтового зрошення.

Вимоги до якості іригаційних вод та їх класифікація.

З метою іригації використовують води поверхневих і підземних водних об'єктів, а також колекторно-дренажні води і стоки підприємств.

В роботі [18] зроблено детальний огляд методик оцінки іригаційних властивостей вод. Розглянемо ці методики [18].

Оцінку якості іригаційних вод виконують за чотирма критеріями:

- концентрація солей;
- співвідношення іонів (в основному катіонів натрію з магнієм і з кальцієм);
- концентрація токсичних елементів, які можуть негативно вплинути на сільськогосподарські рослини і в цілому на навколишнє середовище;
- концентрація біогенів.

Концентрація солей.

Основними іонами, що визначають мінералізацію вод, є: катіони – калій ( $K^+$ ), натрій ( $Na^+$ ), магній ( $Mg^{2+}$ ) і кальцій ( $Ca^{2+}$ ); аніони – хлориди ( $Cl^-$ )

), сульфати ( $SO_4^{2-}$ ), карбонати ( $CO_3^{2-}$ ) і гідрокарбонати ( $HCO_3^-$ ). Часто калій розглядають з натрієм, акарбонати з гідрокарбонатами.

Використання вод з високою мінералізацією може привести до засолення ґрунтів. Засоленням ґрунтів називають надмірне скупчення в кореневмісному шарі електролітних (розчинених або поглинених) солей  $Na_2CO_3$ ,  $NaHCO_3$ ,  $NaCl$ ,  $CaCl_2$ ,  $Na_2SO_4$ ,  $MgCl_2$ ,  $MgSO_4$ , які пригнічують або гублять сільськогосподарські рослини, знижують урожай і його якість. Засолення може бути нейтральним (хлориди і сульфати натрію і магнію) і лужним (карбонати і гідрокарбонати натрію і магнію) [7].

Ступінь засолення ґрунтів характеризується також показником токсичності. Граничне значення його, вище якого починається пригнічення росту і розвитку сільськогосподарських культур, є порогом токсичності.

У табл. 3.1 представлена токсичність основних солей, що зустрічаються в ґрунті і воді.

Таблиця 3.1– Токсичність основних солей [10]

$NaCl$	$Na_2SO_4$	$Na_2CO_3$	$NaHCO_3$
$MgCl_2$	$MgSO_4$	$MgCO_3$	$Mg(HCO_3)_2$
$CaCl_2$	$CaSO_4$	$CaCO_3$	$Ca(HCO_3)_2$

Солі, розташовані вище ризику в табл. 3.1, шкідливі для рослин. Найбільш токсичні з них сода ( $Na_2CO_3$ ,  $NaHCO_3$ ), хлористий ( $NaCl$ ) і сірчаноокислий ( $Na_2SO_4$ ) натрій, хлористий кальцій ( $CaCl_2$ ). Меншою токсичністю мають сульфат і хлорид магнію ( $MgSO_4$ ,  $MgCl_2$ ). Суміші солей завжди менш токсичні, ніж їх більш чисті скупчення.

Ковда В.А. токсичність солей має в наступній послідовності [11]:



Таблиця 3.2 – Шкала відносної токсичності солей [8]

Сіль	$Na_2CO_3$	$NaCl$	$NaHCO_3$	$Na_2SO_4$
Ступінь токсичності	10	3	3	1

Небезпека засолення ґрунтів, виходячи із загальної мінералізації зрошувальної води, по Костякову А.Н. оцінюється в такий спосіб:

– [8] до  $1,0 \text{ г/дм}^3$  – придатна для зрошення; від  $1,0$  до  $1,5 \text{ г/дм}^3$  – обережне зрошення; від  $1,5$  до  $3,0 \text{ г/дм}^3$  – необхідний аналіз хімічного складу солей; понад  $3 \text{ г/дм}^3$  – не придатна для зрошення;

– [9]: до  $0,4 \text{ г/дм}^3$  – хороша вода придатна для зрошення; від  $0,4$  до  $1,0 \text{ г/дм}^3$  – обмежене застосування; від  $1,0$  до  $3,0 \text{ г/дм}^3$  – підвищена небезпека для рослин; більше  $3 \text{ г/дм}^3$  – вторинне засолення.

Вторинне засолення – одне з головних наслідків зрошення земель в умовах аридного клімату. Воно пов'язане з підйомом мінералізованих ґрунтових вод до земної поверхні. Ґрунтові води, що містять солі, починають при цьому інтенсивно випаровуватися, в результаті чого ґрунт насичується надмірною кількістю солей. Гостра екологічна проблема зрошуваного землеробства – забруднення поверхневих і ґрунтових вод. Це результат поливу угідь і використання води для розсолоння ґрунтів. Більшість річок, води яких використовуються для зрошення мають мінералізацію  $0,2-0,5 \text{ г/л}$ . Проблеми засолення ґрунтів і вод посилюються застосуванням мінеральних добрив.

Необхідність аналізу хімічного складу солей для вод з підвищеною мінералізацією ( $1,5-3,0 \text{ г/дм}^3$ ) продиктована тим, що шкідливий вплив різних солей на ґрунт і рослини залежить від властивостей ґрунту [8]: для добре проникних ґрунтів допустимо вміст солей:  $Na_2CO_3 < 1 \text{ г/дм}^3$  ( $9,63 \text{ ммоль/дм}^3$ );  $NaCl < 2 \text{ г/дм}^3$  ( $34,2 \text{ ммоль/дм}^3$ );  $Na_2SO_4 < 5 \text{ г/дм}^3$  ( $35,2 \text{ ммоль/дм}^3$ ). При одночасному присутності цих солей позначені межі зменшуються [8]. Якщо у воді переважають  $NaCl$  або  $Na_2SO_4$ , то її застосування можливе лише на легких і дренажних ґрунтах. Якщо в складі солей переважає сода ( $Na_2CO_3$ ),

то така вода може застосовуватися для поливу тільки при внесенні гіпсу ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ). Гіпс перетворює соду в менш токсичну сіль  $Na_2SO_4$ . Натрієві води при відсутності кальцію можуть викликати осолонцювання ґрунтів.

Ковда В.А. (1946) вважав необхідною і дуже важливою діагностику лужних (содовмісних) вод низької мінералізації. За Вілкокс Л. (1958) вода з вмістом карбонату натрію ( $Na_2CO_3$ ) більше 2,5 ммоль (екв)/дм<sup>3</sup> (132 мг/дм<sup>3</sup>) не придатна для зрошення. Вода з вмістом 1,25-2,5 ммоль (екв)/дм<sup>3</sup> – умовно придатна, менш 1,25 ммоль (екв)/дм<sup>3</sup> (66,2 мг/дм<sup>3</sup>) – придатна. Саболч І. і дараби К. (1962) встановили, що лужність (певна за допомогою фенолфталеїну), рівна 10 мг/дм<sup>3</sup> соди [10, 11] (карбонатна лужність – 0,333мг-екв/дм<sup>3</sup>), є верхньою межею для зрошувальної води.

При титруванні за фенолфталеїном визначається карбонатна лужність ( $CO_3^{2-}$ ), оскільки з кислотою взаємодіють підстави, у яких рКв (константа рівноваги реакції, константа основності) менше 6 [10, 11]. Константа основності для  $CO_3^{2-}$  дорівнює 3,67, для  $HCO_3^-$  – 7,64.

Тут необхідно зазначити, що придатність вод для поливу визначається не тільки їх якістю, але і властивостями ґрунтів. Наприклад, води з однаковим змістом соди можуть бути небезпечні для ґрунтів з рН > 7, але можуть покращувати ґрунту з рН < 7.

Таблиця 3.3– Шкала солоності (г/дм<sup>3</sup>) зрошувальної води [9]

Класифікація вод	Концентрація солей $M_o$
1. Вода низької солоності. Придатна для зрошення більшості культур на більшості ґрунтів.	<0,20
2. Вода середньої солоності. Використовують в умовах помірного вилуговування. Культури середньої солестійкості можна вирощувати, не застосовуючи заходів для боротьби з засоленням.	$0,20 \leq M_o < 0,50$
3. Вода високої солоності. Навіть при хорошому дренажі можуть знадобитися заходи щодо боротьби з засоленням. Слід вибирати культури, що володіють високою солестійкістю.	$0,50 \leq M_o < 1,00$
4. Вода дуже високої солоності. Непридатна на для зрошення в звичайних умовах. Полив при наступних умовах: висока проникність ґрунтів, дренаж, солестійкість культур	$1,00 \leq M_o < 3,00$



У США використовується класифікація поливних вод по солоності, представлена в табл. 3.2.

У класифікації Бездніної С.Я. (1984) поряд з мінералізацією вод враховується відсоткове співвідношення іонів натрію і суми катіонів (рис. 3.1).

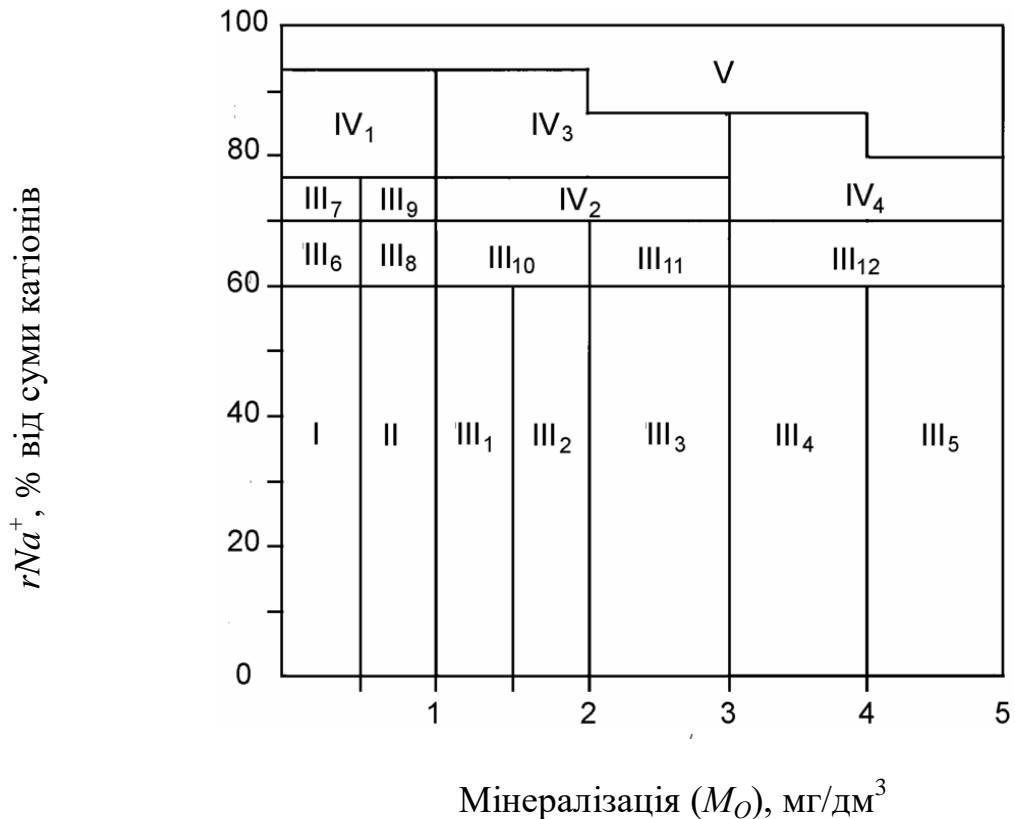


Рис.3.1– Класифікація мінералізованих вод за ступенем їх придатності для зрошення (Бездніна С.Я., 1984):

I – води цілком придатні для зрошення всіх типів ґрунтів; II – води придатні для зрошення більшості типів ґрунтів; III – води обмежено придатні (III<sub>1-5</sub> – потребують поліпшення розведенням, III<sub>6-7</sub> – потребують хімічної меліорації, III<sub>8-12</sub> – потребують розведенні і хімічної меліорації); IV – води умовно придатні (IV<sub>1</sub> – потребують хімічної меліорації, IV<sub>2-4</sub> – потребують розведенні і хімічної меліорації); V – води не придатні для зрошення.

Солонцюватих ґрунтів – їх надмірна насиченість обмінним натрієм (підставами, лугами), негативно впливає на родючість [16, с.5,6].

До солонців [16, с.15] відносяться ґрунти, що містять в гумусового горизонту таку кількість обмінного натрію, що зумовлює розвиток в ґрунтах комплексу несприятливих властивостей – лужну реакцію середовища, високу дисперсність мінеральної частини, зв'язність, набухання при зволоженні, сильне ущільнення і твердість при зсушенні.

За ступенем солонцюватих розрізняють:

– несолонцюваті ґрунту, що містять менше 3% поглиненого натрію від ємності катіонного обміну;

–слабкосолонцеватий– 3-5%;

–середньосолонцюваті– 5-10%;

–сильносолонцюваті– 10-15%.

Солонці за змістом обмінного натрію поділяються на:

–малонатрієві– 10-20%;

–средненатрієві– 20-40%;

–многонатрієві–> 40%.

Лужність водних витяжок з ґрунту обумовлюється [11] вмістом в них карбонатів і гідрокарбонатів лужних і лужноземельних металів і лужних солей крем'яних і органічних речовин. В аналітичній практиці всі названі форми лужних солей зазвичай не розчленовують, а висловлюють сумарну або загальну лужність в іоні  $\text{HCO}_3^-$  і з неї виділяють: 1) лужність карбонатів лужних металів – іон  $\text{CO}_3^{2-}$ , представлену головним чином содою  $-\text{Na}_2\text{CO}_3$ ; 2) лужність гідрокарбонатів лужних металів – іон  $\text{HCO}_3^-$ , представлену головним чином гідрокарбонатом натрію  $-\text{NaHCO}_3$ .

Виділення окремих форм лужності, пов'язаних з натрієм, важливо тому, що ці солі найбільш шкідливі (особливо  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) і присутність їх при відомих умовах може вказувати на солонцюватих ґрунту.

Розчинені у воді солі зазвичай представляють у вигляді іонів. Однак, іноді придатність води для зрошення встановлюють по співвідношенню

змісту в ній окремих видів розчинних солей [8].

Головні іони, що вносять основний внесок в мінералізацію води, можуть бути токсичними і нетоксичними. До токсичних відносять іони, здатні утворювати токсичні солі. Іони  $Cl^-$  і  $Na^+$  токсичні, інші головні іони можуть бути як токсичними, так і нетоксичними в залежності від їх взаємного з'єднання (див. раніше):  $Mg^{2+}$  і  $Ca^{2+}$  з  $Cl^-$  дають токсичні солі, а з  $CO_3^{2-}$  і  $HCO_3^-$  – нетоксичні;  $CO_3^{2-}$  і  $HCO_3^-$  з  $Na^+$  дають найтоксичніші для рослин солі, а з  $Mg^{2+}$  і  $Ca^{2+}$  – нетоксичні. Такий аналіз токсичності іонів представлений в роботі [12]. Виділення токсичних іонів зручно виконати, якщо уявити мінералізацію води у вигляді суми гіпотетичних солей.

Про можливість подання аналізу води у вигляді гіпотетичних солей йдеться в [18, С.65-67; 25, с.129,130], іони з'єднуються за наступною схемою: аніони  $-NO_3^-$ ;  $Cl^-$ ;  $SO_4^{2-}$ ;  $CO_3^{2-}$ ;  $HCO_3^-$ ; катіони  $-K^+$ ;  $Na^+$ ;  $Mg^{2+}$ ;  $Ca^{2+}$ ;  $Fe^{2+}$ ;  $Mn^{2+}$ . Таким чином, гіпотетичне з'єднання головних іонів можна записати: аніони  $-Cl^-$ ;  $SO_4^{2-}$ ;  $(CO_3^{2-} + HCO_3^-)$ ; катіони  $-(K^+ + Na^+)$ ;  $Mg^{2+}$ ;  $Ca^{2+}$ .

а)					
$rCl^-$	$rSO_4^{2-}$	$rCO_3^{2-}$	$rHCO_3^-$		
$NaCl$	$Na_2SO_4$	$Na_2CO_3$	$NaHCO_3$	$Mg(HCO_3)_2$	$Ca(HCO_3)_2$
$rNa^+$			$rMg^{2+}$	$rCa^{2+}$	
0					100%
б)					
$rCl^-$	$rSO_4^{2-}$		$rHCO_3^-$		
$NaCl$	$Na_2SO_4$	$MgSO_4$	$Mg(HCO_3)_2$	$Ca(HCO_3)_2$	
$rNa^+$		$rMg^{2+}$		$rCa^{2+}$	
0					100%
в)					
$rCl^-$		$rSO_4^{2-}$	$rHCO_3^-$		
$NaCl$	$MgCl_2$	$MgSO_4$	$Mg(HCO_3)_2$	$Ca(HCO_3)_2$	
$rNa^+$	$rMg^{2+}$			$rCa^{2+}$	
0					100%

Рис. 3.2– Графічний спосіб Роджерса[15]

Роджерсом [15] для зручності ідентифікації гіпотетичних солей була запропонована графічна методика (рис. 3.2), яка полягає в тому, що зміст (в% екв або мг-екв/дм<sup>3</sup>) аніонів та катіонів представляють у вигляді двох паралельних рядків (стовпців), розташованих горизонтально (вертикально), і по взаємному розташуванню відрізків, відповідних змісту іонів у воді, оцінюють вид і концентрацію передбачуваних солей.

На рис. 3.2 представлена ідентифікація гіпотетичних солей у водах різного типу (а – I; б – II; в – III) графічним способом Роджерса. Послідовність з'єднання іонів взята з [14].

Якісний склад гіпотетичних солей найбільш несприятливий в першому типі вод, в них можуть міститися карбонат ( $Na_2CO_3$ ) і гідрокарбонат ( $NaHCO_3$ ) натрію – найтоксичніші для рослин солі. Однак, залуження ґрунтів здатний викликати і гідрокарбонат магнію ( $Mg(HCO_3)_2$ ) – нетоксична для рослин сіль, яка міститься і в інших типах вод.

Слід зазначити, що спосіб Роджерса можна розглядати лише як можливе, орієнтоване уявлення про розчинених у воді солях. Оскільки іони у воді в переважній більшості знаходяться в незв'язному стані.

Залишкова карбонатність натрію ( $ZKH$  по Ітону) характеризує лужність води [10, 11]:

$$ZKH = (rCO_3^{2-} + rHCO_3^-) - (rCa^{2+} + rMg^{2+})$$

чи

$$ZKH = rNa^+ - (rCl^- + rSO_4^{2-}).$$

Відповідно до класифікації Ітона, вода, у якій  $ZKH > 2,5$  мг-екв/дм<sup>3</sup>, не придатна для зрошення, при  $1,25 \leq ZKH \leq 2,5$  мг-екв/дм<sup>3</sup> її можна використовувати в обмеженому обсязі, а при  $ZKH < 1,25$  мг-екв/дм<sup>3</sup> вона безпечна.

*Співвідношення іонів.*

Найбільш поширеною є оцінка якості іригаційних вод по

співвідношенню іонів.

Тригаційний (лужний) коефіцієнт Стеблера, чисельно рівний товщині шару води в дюймах, при випаровуванні якої в ґрунті утворюється шкідливий для більшості рослин кількість солей, розраховується за формулами [7]

$$K_a = 288 / (5rCl), \quad \text{при } rCl > rNa^+ \text{ (III),}$$

$$K_a = 288 / (rNa^+ + 4rCl), \quad \text{при } rCl + rSO_4^{2-} > rNa^+ > rCl \text{ (II),}$$

$$K_a = 288 / (10rNa^+ - 5rCl - 9rSO_4^{2-}), \quad \text{при } rNa^+ > rCl + rSO_4^{2-} \text{ (I),}$$

де  $rNa^+$ ,  $rCl$ ,  $rSO_4^{2-}$  – концентрація іонів, мг-екв/дм<sup>3</sup>.

Придатність води для зрошення в цьому випадку оцінюється таким чином:

–  $K_a \geq 18$  – необмежено придатна для зрошення всіх культур;

–  $18 > K_a \geq 6$  – придатна для зрошення більшості культур в залежності від ґрунтово-кліматичних умов;

–  $6 > K_a \geq 1,2$  – обмежено придатна для зрошення солестійких культур за умови хорошого штучного дренажу, проведенні промивних поливів і меліоративних заходів (наприклад, внесення емульсії гіпсу в воду);

–  $K_a < 1,2$  – вода непридатна для зрошення.

Оцінку зрошувальних вод (небезпека осолонцювання) І.М. Антипов-Каратаєв і Г.М. Кадер (1961) [7, 9] запропонували виконувати по такому співвідношенню:

$$K = (Ca^{2+} + Mg^{2+}) / Na^+ \geq 0,23 M_o,$$

де:  $M_o$  – загальна концентрація розчинних солей у воді, г/дм<sup>3</sup>;

$Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$  – концентрація катіонів в ммоль/дм<sup>3</sup>.

І.М. Антипов-Каратаєв і Г.М. Кадер вважають, що критичне співвідношення катіонів  $[(Ca^{2+} + Mg^{2+}) / Na^+]$  10, при якому кількість поглиненого натрію досягає 10% від ємності катіонного обміну (ЕКО) ґрунту, так само 0,23МО. Тому, при  $K < 0,23МО$  вода непридатна для зрошення.

Ф.Р. Зайдельман [10] вказує, що багаторазові поливи водою навіть з малою концентрацією соди (1-2 ммоль (екв)/дм<sup>3</sup>) викликає високулужність ґрунтів. Сорбцію натрію ґрунтом по І.М. Антипова-Каратаєва в залежності від концентрації соди у воді можна виразити залежністю:

$$Y = K_1 + K_2 \log C,$$

де  $Y$  – обмінний натрій, ммоль (+) / 100 г ґрунту;

$C$  – концентрація соди в поливній воді, ммоль (екв)/дм<sup>3</sup>.

М.Ф. Буданов (1965) – води з мінералізацією  $\leq 1$  г/дм<sup>3</sup> можуть застосовуватися для зрошення при співвідношенні натрію до кальцію ( $K_1$ ) максимум 1, а натрію до суми кальцію і магнію ( $K_2$ ) – не більше 0,7. Для вод з мінералізацією 1-3 г/дм<sup>3</sup> при збереженні перших, вводиться додаткова умова: сума ( $r\Sigma e$ ) головних іонів, поділена на суму кальцію і магнію, ( $K_3$ ) не повинна перевищувати: 4 – для середньо- і важко суглинистих ґрунтів; 5 – для легкосуглинистих ґрунтів; 6 – для супіщаних і піщаних ґрунтів:

$$1) K_1 = rNa^+ / rCa^{2+} \leq 1,0;$$

$$2) K_2 = rNa^+ / (rCa^{2+} + rMg^{2+}) \leq 0,70;$$

$$3) K_3 = r\Sigma e / (rCa^{2+} + rMg^{2+}) \leq B.$$

Можейко А.М. і Воротник Т.К. вважають, що води придатні для поливу, при виконанні умови:

$$K = (Na^+ + K^+) / (Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+) \leq 0,65,$$

де  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  і  $Mg^{2+}$  – концентрація катіонів в ммоль/дм<sup>3</sup>.

При  $K \leq 0,65$  вода сприятлива для поливу,  $0,65 < K \leq 0,75$  – несприятлива,  $K > 0,75$  – досить несприятлива, викликає осолонцювання ґрунту.

Глухова Т.П. пропонує використовувати воду для зрошування, якщо виконуються співвідношення:

$$0,6 \leq rNa^+ / rCa^{2+} \leq 2,0;$$

$$rMg^{2+} / rCa^{2+} < 1,0;$$

$$rMg^{2+} / (rCa^{2+} + rMg^{2+}) < 0,5.$$

Саболч І. і Дараб К. (1973) вважають, що кількість  $Mg^{2+}$  в поливній воді не погано впливає на ґрунт, якщо [10, 11, 17]:

$$rMg^{2+} / (rCa^{2+} + rMg^{2+}) \leq 0,50.$$

Келлі и Лібіх встановили, що наявність  $Na^+$  і  $Mg^{2+}$  в поливній воді не погано впливає на ґрунт, якщо виконуються співвідношення:

$$rNa^+ / (rCa^{2+} + rMg^{2+}) \leq 1,0;$$

$$rMg^{2+} / (rCa^{2+} + rMg^{2+}) \leq 0,60.$$

Показник адсорбційного співвідношення (SAR), розраховується за формулою Гапона (використовується для оцінки води в США) [7]:

$$SAR = rNa^+ / [(rCa^{2+} + rMg^{2+})/2]^{0,5},$$

де  $rNa^+$ ,  $rCa^{2+}$ ,  $rMg^{2+}$  – концентрація катіонів солей, мг-екв/дм<sup>3</sup>;

За показником  $SAR$  надається оцінка небезпеки осолонцювання ґрунту:

Показник $SAR$	Небезпека осолонцювання
$\leq 10$	мала
$10 ? 18$	середня
$18 ? 26$	висока
$> 26$	дуже висока

Таблиця 3.4– Ричардс Л.А. [10]

Загальна мінералізація, г/дм <sup>3</sup>	Небезпека засолення ґрунту	Небезпека осолонцювання за показником $SAR$			
		Низька	Середня	Висока	Дуже висока
$\leq 1$	Низька	8–10	15–18	22–26	$> 26$
1–2	Середня	6–8	12–15	18–22	$> 22$
2–3	Висока	4–6	9–12	14–18	$> 18$
$> 3$	Дуже висока	2–4	6–9	11–14	$> 14$

#### Концентрація токсичних іонів.

Для кожного виду рослин токсичними можуть бути різні речовини, тому перелік токсичних іонів залежить від вирощуваної культури.

Загалом при оцінці токсичності окремих іонів враховують вміст у водах бору ( $B^{3+}$ ), натрію ( $Na^+$ ), хлору ( $Cl^-$ ), важких металів ( $As^{3+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ), нітратів ( $NO_3^-$ ), загальну лужність ( $HCO_3^-$ ) і рН. Підвищений вміст в поливних водах токсичних іонів може привести до їх накопичення в листі, викликати опік рослин (це може проявитися при дощуванні в денний час). У табл. 3.5 наводиться характеристика якості поливних вод при різних



способах поливу в залежності від концентрації іонів  $Na^+$ ,  $Cl^-$ ,  $HCO_3^-$ ,  $B^{3+}$  і  $NO_3^-$ .

Таблиця 3.5– Токсичність іонів для сільськогосподарських культур при поверхневих поливах і дощуванні

Іон	Спосіб зрошення	Якість води		
		Добра	Середня	Погана
$Na^+$ , ммоль/дм <sup>3</sup>	Поверхневий полив	$\leq 3$	$>3 \div \leq 9$	$>9$
	Дощування	$\leq 3$		$>3$
$Cl^-$ , ммоль/дм <sup>3</sup>	Поверхневий полив	$\leq 4$	$>4 \div \leq 10$	$>10$
	Дощування	$\leq 3$		$>3$
$HCO_3^-$ , ммоль/дм <sup>3</sup>	Дощування	$\leq 1,5$	$>1,5 \div \leq 8,5$	$>8,5$
$B^{3+}$ , мг/дм <sup>3</sup>	При будь-якому поливі	$\leq 0,7$	$>0,7 \div \leq 2,9$	$>2,9$
$NO_3^-$ , мг/дм <sup>3</sup>	При будь-якому поливі	$\leq 5$	$>5 \div \leq 30$	$>30$

Вчений Інституту ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н. Соколовського УААН (С.А. Балюк та ін.), Українського наукового гігієнічного центру Мінздраву України (Г.Я. Чегринець та ін.), Інституту гідротехніки та меліорації УААН (М.І. Ромашенко), Харківського державного педагогічного університету (Т. О. Грінченко), Всеросійського науково-дослідного інституту гідротехніки та меліорації (С.Я. Бездніна) розроблені екологічні Критерії якості води для зрошення [19].

Оцінка якості води для зрошення за екологічним і критерієм проводиться з метою попередження можливий негативного впливу на компоненти природного середовища та здоров'я населення. Вплив може проявляється в зміні: 1) стійкості ґрунтових систем, в тому числі характеристик родючості ґрунтів та їх відповідність санітарно-гігієнічним вимоги; 2) санітарно-гігієнічного стану та харчової якості сільськогосподарської продукції рослинництва та тваринництва; характеристик гідрохімічного та санітарно-гігієнічного стану поверхнево та підземних вод.

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

При оцінці якості води для зрошення за екологічними критеріями виділяють два класи води: I клас – «придатна», II клас – «обмежена придатна». Вода більш низької якості, показники якої виходять за межі значень II класу, непридатна для зрошення без попередня поліпшення її складу і властивостей.

Води II класу використовують для зрошення за умов екологічного контролю та обов'язкового застосування комплексу агромеліоративних заходів. Якщо за різними групами показників воду віднесено до різних класів якості води для зрошення, Загальну оцінку здійснюють за гіршим показником.

Нормування якості води для зрошення за екологічними критеріями відповідно до ГОСТ 17.1.2.03 Належить проводити за двома групами показників якості води:

а) перша група – Властивості води та вміст речовини, які в певній кількості необхідні для нормального функціонування агроєкосистеми (нормування показників здійснюється з позицій біологічної повноцінності та позитивного впливу на екологічне благополуччя об'єктів навколишнього природного середовища);

б) друга група – Властивості води та вміст речовини, які негативно впливають на стан та функціонування агроєкосистеми та компонентів навколишнього природного середовища (нормування показників здійснюється з позицій умів придатності води для зрошення).

Перша група містить такі загально-екологічні та еколого-гігієнічні показники: вміст азоту, мг/дм<sup>3</sup>; вміст мікроелементів (*Mn, Fe, Cu, B, Co, Zn, Mo*) і *F*, мг/дм<sup>3</sup>; величина БСК<sub>5</sub>, мг/дм<sup>3</sup>.

Друга група містить такі показники:

а) еколого-токсикологічні: вміст важких металів (*Pb, Hg, Cd, Se, As, ΣCr, V, Ni, V*), мг/дм<sup>3</sup>; вміст пестицидів, вміст фенолів, ціанідів; вміст нафти и нафтопродуктів; вміст детергентів, мг/дм<sup>3</sup>;

б) санітарно-бактеріологічні: наявність бактерій групи кишкової

палички (колі-індекс); наявність фагів кишкової палички (індекс коли-фагів); наявність патогенної мікрофлори; наявність життєздатних яєць гельмінтів; радіоактивні речовини.

Оцінку якості зрошувальної води за показником вмісту макроелементів живлення рослин здійснюють з метою попередження погіршення еколого-гігієнічних показників поживної цінності сільськогосподарської продукції, а також еколого-гігієнічного стану підземних та поверхневих вод.

Оцінюють у воді вміст лише мінерального азоту без урахування вмісту та співвідношення у воді різних його форм, які трансформуються, коли надходять в ґрунт із зрошувальною водою. Нормується загальне навантаження азоту на зрошувальні ґрунти: Сумарний надходження азоту в ґрунт в кг діючої речовини на гектар з основного внесення добрив та зрошувальною водою (розраховано за вмістом азоту у воді в  $\text{мг/дм}^3$  та загального об'єму води за період зрошення в  $\text{м}^3/\text{га}$ ) не повинно перевищувати максимально припустимих річних доз азотних добрив при зрошенні по зонах України (лісостеп, степ) [19].

Якщо вони перевищені, потрібно корегувати дози внесення азотних добрив в підживлення. У таких випадках, коли зрошення сільськогосподарських культур здійснюють без внесення азотних добрив (багаторічні бобові трави), воду вважають придатною для зрошення, якщо вміст мінерального азоту не перевищує  $15 \text{ мг/дм}^3$ .

Оцінку якості води за вмістом мікроелементів та важких металів здійснюють з метою попередження негативного впливу на сільськогосподарські рослини, ґрунти, Підземні та поверхневі води. Оцінку якості зрошувальної води за вмістом окремих мікроелементів та важкими металами проводять згідно з табл. 3.6 з урахуванням пріоритетності показників та ступеню небезпеки елементів (з урахуванням класифікації мікроелементів та важких металів за ступенями небезпеки в зрошувальній воді) [19].

Оцінку якості води за вмістом пестицидів здійснюють з метою

попередження негативного впливу на сільськогосподарські рослини та поверхневі води, рослинний та тваринний світ. Вміст пестицидів, як суми залишкової кількості діючої речовини та продуктів метаболізму, в зрошувальній воді лімітовано (ПЕРЕЛІК пестицидів наведено згідно ГОСТ 17.4.1.02 та СанПіН 4630), а також за класифікацією пестицидів за ступенями небезпеки в зрошувальній воді, ґрунтах та рослини (з урахуванням класифікації пестицидів за ступенями небезпеки в зрошувальній воді ґрунтах та рослинах) [19].

Таблиця 3. 6– Оцінка якості зрошувальної води за вмістом мікроелементів та важких металів (мг/дм<sup>3</sup>)[19]

Назваелементу	Оцінка якості води	
	I клас	II клас
Алюміній	< 2,0	2,0 - 5,0
Літій	< 1,0	1,0 - 2,5
Залізо*	< 2,0 (0,3)**	2,0 - 5,0
Цинк*	< 0,5	0,5 - 1,0
Марганець*	< 0,5	0,5 - 1,0
Хром ( $Cr^{3+}$ )*	< 0,2	0,2 - 0,5
Молібден	< 0,005	0,005 - 0,01
Ванадій	< 0,05	0,05 - 0,1
Вольфрам	< 0,03	0,03 - 0,05
Вісмут	< 0,05	0,05 - 0,1
Фтор	< 0,8	0,8 - 1,5
Бор*	< 0,2	0,2 - 0,5
Селен	< 0,01	0,01 - 0,02
Нікель*	< 0,08	0,08 - 0,2
Мідь*	< 0,08	0,08 - 0,2
Хром ( $Cr^{6+}$ )*	< 0,05	0,05 - 0,1
Кобальт*	< 0,02	0,02 - 0,05
Свинець*	< 0,02	0,02 - 0,05
Кадмій*	< 0,005	0,005 - 0,01
Ртуть*	< 0,002	0,002 - 0,005
Берилій	< 0,05	0,05 - 0,01
Миш'як	< 0,02	0,02 - 0,05

Примітки: \* Пріоритетна група елементів згідно з ГОСТ 17.1.2.03; \*\* для крапельного зрошення.

Якщо вміст пестицидів у воді не перевищує ГДК (табл. 3.7), воду відносять до класу I «придатна». В тому разі, коли вміст одного чи декількох пестицидів перевищує ГДК, оцінку якості води проводять з урахуванням ступеню небезпеки пестицидів. Воду відносять до класу II «обмежено придатна», якщо вміст пестицидів, віднесених до класу «мало небезпечні», не перевищує 2 ГДК. Воду вважають непридатною для зрошення, якщо перевищено ГДК пестицидів, віднесених до класів «помірно небезпечні» та «дуже небезпечні».

Таблиця 3.7– Гранично допустимі концентрації пестицидів у зрошувальній воді[19]

Найменування пестициду	ГДК у зрошувальній воді, мг/дм <sup>3</sup>
Дактал	1,0
Дилор	0,1
Полікарбацин	2,0
Прометрін	3,0
Трихлорацетат натрію	5,0
Цинеб	0,03
2,4-Дамінна сіль	0,2
Далапон	2,0
Карбофос	0,05
Пропанід	0,1
Сімазін	0,02
Трефлан	1,0
Хлорофос	0,05
Ялан (ордрам)	0,07
Рогор	0,03
Атразін	0,05
Гексахлорбутадиєн	0,01
ДДТ	0,1
ПХК (поліхлоркамфен)	0,005
ПХП (поліхлорпінєн)	0,02
Севін	0,1
Метафос	0,02
Гептахлор	0,05
ГХЦХ	0,02
Гранозан	0,0001

Оцінку якості води за еколого-гігієнічними та еколого-токсикологічними показниками –*БСК<sub>5</sub>*, вмісту фенолів, ціанідів, нафти та нафтопродуктів, детергентів здійснюють з метою попередження зниження здатності ґрунтів до самоочищення, а також погіршення гігієнічного стану та харчової якості сільськогосподарської продукції. Воду вважають придатною для зрошення, якщо вміст цих речовин не перевищує *ГДК* (табл. 3.8).

Оцінку зрошувальної води за небезпекою погіршення санітарно-бактеріологічного стану природного середовища здійснюють з метою попередження прямого негативного впливу на стан агроєкосистеми та навколишнього природного середовища, та непрямого впливу на здоров'я людини, тому гігієнічні вимоги до зрошувальної води такі ж, як і до води господарчо-питного водокористування.

Таблиця 3.8– Гранично допустимі концентрації *БСК<sub>5</sub>*, фенолів, ціанідів, нафти, нафтопродуктів та детергентів у зрошувальній воді[19]

Найменування речовини	<i>ГДК</i> у зрошувальній воді, мг/дм <sup>3</sup>
<i>БСК<sub>5</sub></i> , мг <i>O<sub>2</sub></i> /дм <sup>3</sup>	10,0
Феноли	0,005
Ціаніди	0,05
Нафта багатосірчана	0,2
Нафта інша та нафтопродукти	0,3
Детергенти	0,1

Воду вважають придатною для зрошення, якщо вона відповідає таким вимогам: колі-індекс не повинен перевищувати 1000 одиниць в 1 дм<sup>3</sup>; індекс колі-фагів не повинен перевищувати 100 одиниць в 1 дм<sup>3</sup>; вміст епідеміологічно небезпечних збуджувачів тифу, паратифу, патогенних ешерихій, сальмонел не допускається; вміст життєздатних яєць гельмінтів не допускається.

### 4 ДЕТАЛЬНА ТИПІЗАЦІЯ ІРИГАЦІЙНИХ ВОД

Для потреб іригації типізацію природних вод по Альокіну О.А. можна уявити більш детально, розділивши типи вод на підтипи в наступному порядку: I, IIa, IIб, IIIa, IIIб, IIIв.

Тип IV не розглядається (хоча за співвідношенням іонів він теж може бути розбитий на три підтипи). До цього типу належать кислі води болотні, шахтні і вулканічні, а також води, сильно забруднені промисловими стоками [15]. Такі води не придатні для зрошення.

Для вод I та II типів (рис. 4.1) характерним є співвідношення іонів  $rNa^+ > rCl^-$ , для III  $rNa^+ \leq rCl^-$ , далі[18]:

- I  $rNa^+ > rCl^- + rSO_4^{2-}$ ;
- IIa  $rNa^+ > rCl^-$  и  $rNa^+ \leq rCl^- + rSO_4^{2-}$  и  $rCa^{2+} \leq rHCO_3^-$ ;
- IIб  $rNa^+ > rCl^-$  и  $rNa^+ \leq rCl^- + rSO_4^{2-}$  и  $rCa^{2+} > rHCO_3^-$ ;
- IIIa  $rNa^+ \leq rCl^-$  и  $rNa^+ + rMg^{2+} > rCl^-$  и  $rCa^{2+} \leq rHCO_3^-$ ;
- IIIб  $rNa^+ \leq rCl^-$  и  $rNa^+ + rMg^{2+} > rCl^-$  и  $rCa^{2+} > rHCO_3^-$ ;
- IIIв  $rNa^+ + rMg^{2+} \leq rCl^-$ ;

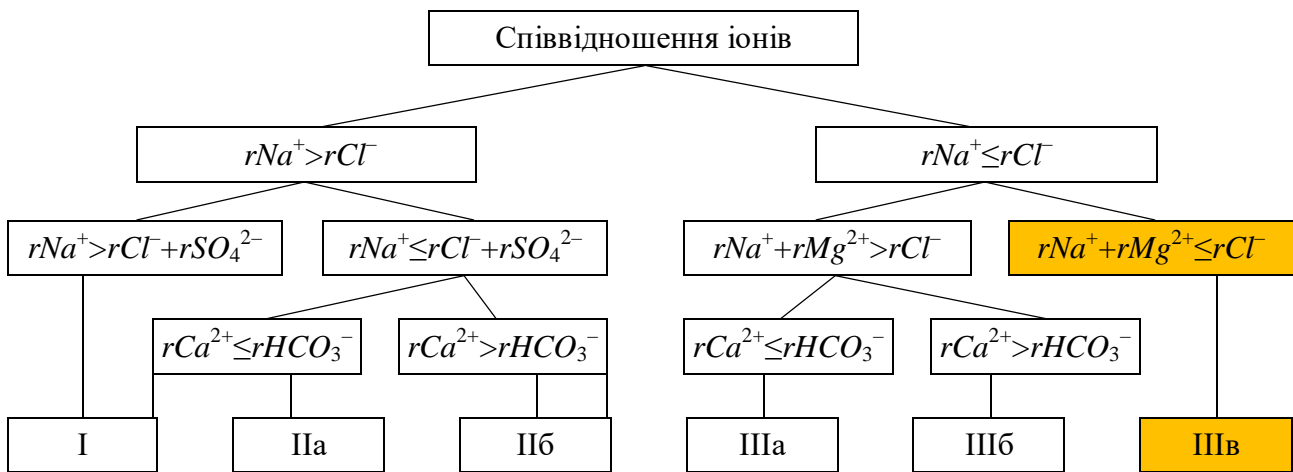


Рис. 4.1 – Схема детальної типізації вод[18]

Запропоновані підтипи вод зручніше характеризувати набором гіпотетичних солей, які можуть утворитися в ґрунті при висиханні води. Для

такого аналізу скористаємося графічною методикою Роджерса [15], яка полягає в тому, що зміст (в% екв або мг-екв/дм<sup>3</sup>) аніонів та катіонів представляють у вигляді двох паралельних рядків, і по взаємному розташуванню відрізків, відповідають змісту іонів у воді, оцінюють вид і кількість передбачуваних солей (рис. 4.1).

Цей спосіб аналізу дозволяє приблизно оцінити якісний і кількісний склад гіпотетичних солей у воді, в тому числі токсичних солей і відповідно токсичних іонів. В даному випадку під токсичними маються на увазі іони здатні утворити токсичні солі. По токсичності Ковда В.А. має солі в наступному порядку [29, с.386]:  $Na_2CO_3 > NaHCO_3 > NaCl > CaCl_2 > Na_2SO_4 > MgCl_2 > MgSO_4$ .

Подання мінерального складу вод у вигляді набору гіпотетичних солей не використовується на практиці, оскільки в переважній більшості іони у воді знаходяться в незв'язному стані, і при хімічному аналізі визначають вміст іонів. Але, в літературі досить часто згадується про ці солі [8, 10, 14, 15].

Таблиця 4.1 – Гіпотетичні солі в різних підтипах вод

а) Тип I ( $rNa^+ > rCl^- + rSO_4^{2-}$  или  $rCa^{2+} + rMg^{2+} < rHCO_3^-$ )

$rCa^{2+}$	$rMg^{2+}$	$rNa^+$		
$Ca(HCO_3)_2$	$Mg(HCO_3)_2$	$NaHCO_3$	$Na_2SO_4$	$NaCl$
$rHCO_3^-$		$rSO_4^{2-}$		$rCl^-$

б) Тип IIa ( $rNa^+ > rCl^-$  и  $rNa^+ \leq rCl^- + rSO_4^{2-}$  и  $rCa^{2+} \leq rHCO_3^-$ )

$rCa^{2+}$	$rMg^{2+}$		$rNa^+$	
$Ca(HCO_3)_2$	$Mg(HCO_3)_2$	$MgSO_4$	$Na_2SO_4$	$NaCl$
$rHCO_3^-$		$rSO_4^{2-}$		$rCl^-$

в) Тип IIб ( $rNa^+ > rCl^-$  и  $rNa^+ \leq rCl^- + rSO_4^{2-}$  и  $rCa^{2+} > rHCO_3^-$ )

$rCa^{2+}$		$rMg^{2+}$	$rNa^+$	
$Ca(HCO_3)_2$	$CaSO_4$	$MgSO_4$	$Na_2SO_4$	$NaCl$
$rHCO_3^-$	$rSO_4^{2-}$		$rCl^-$	
$rCa^{2+}$	$rMg^{2+}$		$rNa^+$	
$Ca(HCO_3)_2$	$Mg(HCO_3)_2$	$MgSO_4$	$MgCl_2$	$NaCl$
$rHCO_3^-$		$rSO_4^{2-}$	$rCl^-$	



## Продовження таб. 4.1

д) Тип IIIб ( $rNa^+ \leq rCl^-$ и $rNa^+ + rMg^{2+} > rCl^-$ и $rCa^{2+} > rHCO_3^-$ )				
$rCa^{2+}$		$rMg^{2+}$		$rNa^+$
$Ca(HCO_3)_2$	$CaSO_4$	$MgSO_4$	$MgCl_2$	$NaCl$
$rHCO_3^-$	$rSO_4^{2-}$		$rCl^-$	
е) Тип IIIв ( $rNa^+ + rMg^{2+} \leq rCl^-$ или $rCa^{2+} \geq rHCO_3^- + rSO_4^{2-}$ )				
$rCa^{2+}$		$rMg^{2+}$		$rNa^+$
$Ca(HCO_3)_2$	$CaSO_4$	$CaCl_2$	$MgCl_2$	$NaCl$
$rHCO_3^-$	$rSO_4^{2-}$	$rCl^-$		

$Na_2CO_3 > NaHCO_3 > NaCl > CaCl_2 > Na_2SO_4 > MgCl_2 > MgSO_4$  – токсичні для рослин солі.

$MgCO_3, Mg(HCO_3)_2, CaSO_4, CaCO_3, Ca(HCO_3)_2$  – нетоксичні для рослин солі.

Наприклад, на необхідність аналізу хімічного складу солей для вод з мінералізацією 1,5-3,0 мг/дм<sup>3</sup> вказує основоположник меліорації на радянському просторі Кістяків А.Н. [8]. Далі, на думку Альокіна О.А. можна отримати наближене уявлення про характер солей, які будуть надходити в ґрунт з даної води, якщо умовно допустити, що при випаровуванні води будуть випадати солі при комбінації іонів в наступній послідовності: катіони  $-Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+$ ; аніони  $-HCO_3^-, SO_4^{2-}$  і  $Cl^-$  [15].

У довідковому керівництві гідрогеолога [14] послідовність комбінування іонів зворотна: аніони  $-Cl^-; SO_4^{2-}; (CO_3^{2-} + HCO_3^-)$ ; катіони  $-(K^+ + Na^+); Mg^{2+}; Ca^{2+}$ . Однак, з таблиці 4.1 видно, що результати аналізу солей по прямій послідовності або по зворотній будуть однаковими.

На рис. 4.1 представлені гіпотетичні солі, які можуть надійти в ґрунт при використанні для поливу розглянутих підтипів вод. На ньому умовно (для наочності) кількість солей показано в рівних частках. Токсичність солей відображена колірною шкалою.

Аніони і катіони в воді врівноважують один одного. Послідовність їх врівноваження (з'єднання) викладена раніше. Виконуючи аналіз хімічного складу вод, наприклад типу I ( $rCa^{2+} + rMg^{2+} < rHCO_3^-$ ), можна сказати, що

гідрокарбонат-іони ( $\text{HCO}_3^-$ ) врівноважують іони кальцію ( $\text{Ca}^{2+}$ ), іони магнію ( $\text{Mg}^{2+}$ ) і частково іони натрію ( $\text{Na}^+$ ), при цьому гіпотетично утворюючи відповідні солі (табл. 4.1а).

Для всіх розглянутих підтипів вод (табл. 4.1) можливість утворення в ґрунті гідрокарбонату кальцію ( $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ) і хлориду натрію ( $\text{NaCl}$ ) є спільною, тому при аналізі зупинимося тільки на характерних відмінностях.

По набору токсичних солей води I-го типу (табл. 4.1а) можуть бути самими несприятливими для іригаційних цілей, оскільки крім сульфату натрію ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) через них в ґрунті може утворитися питна сода ( $\text{NaHCO}_3$ ), а при наявності карбонат-іонів ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) – звичайна сода ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), з усіх солей, утворених головними іонами, сама токсична для рослин. Ці солі викликають лужну реакцію ґрунту і її осолонцювання.

Води II-го типу (табл. 4.1б, в) відрізняються від вод I-го типу тим, що замість карбонату і бікарбонату натрію ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$  і  $\text{NaHCO}_3$ ) в ґрунт може надійти сульфат магнію ( $\text{MgSO}_4$ ), який в ряду токсичності солей (по Ковда В.А.) стоїть на останньому місці.

Відмінність підтипів Па і Пб в наступному:

з вод підтипу Па (табл. 4.1б) в ґрунт крім  $\text{MgSO}_4$  може надійти гідрокарбонат магнію ( $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ ) – нетоксична для рослин сіль, проте здатна викликати лужну реакцію ґрунтів;

води підтипу Пб (табл. 4.1в) замість гідрокарбонату магнію сприяють утворенню в ґрунті іншої нетоксичної солі – гіпсу ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), який являється меліорантом солонцюватих ґрунтів.

Підтип вод Ша (табл. 4.1г) в порівнянні з Па більш сприятливий, тому що при випаровуванні вод цього підтипу замість сульфату натрію ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) в ґрунт може вступити менше токсичний хлорид магнію ( $\text{MgCl}_2$ ).

Підтипи вод Ша і Шб відрізняються один від одного так само, як і підтипи вод Па і Пб – наявністю гідрокарбонату магнію ( $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ ) в Ша і сульфату кальцію ( $\text{CaSO}_4$ ) в Шб.

У водах підтипу Шв на відміну від Шб замість сульфату магнію

( $MgSO_4$ ) з'являються більш токсична для рослин сіль – хлорид кальцію ( $CaCl_2$ ). За ступенем негаразди для поливу якісний склад токсичних солей вод цього підтипу можна розташувати на другому місці після вод I-го типу.

Посохов Є.В., розглядаючи типізацію природних вод Альокіна О.А., запропонував розділити води типу III на два підтипу: IIIa ( $rNa^+ + rMg^{2+} > rCl^-$ ) і IIIб ( $rNa^+ + rMg^{2+} < rCl^-$ ) [15]. Альокін О.А. зазначає, що підтип IIIб характерний для сильно мінералізованих вод лагунного походження.

Підтип IIIб по Посохова О.В. відповідає підтипу IIIв в розглянутій типізації (на рис. 4.1 виділено кольором). Води цього підтипу можна виключити зі списку придатних для іригації вод.

Таким чином, для потреб іригації по співвідношенню іонів можна розглядати п'ять підтипів вод: I; IIa; IIб; IIIa; IIIб. В даній послідовності мінералізація природних вод має тенденцію до збільшення зліва направо. Тому, розташовані лівіше підтипи вод, для поливу, швидше за все, будуть кращими. При рівній мінералізації навпаки – по набору токсичних гіпотетичних солей більш сприятливими для поливу найімовірніше будуть підтипи вод, розташовані правіше.

Оцінку кількості токсичних іонів у воді зручно виконувати за табл. 4.2.

В осередку таблиці на перетині стовпця і рядку стоїть позначення одного з іонів, що входять до складу гіпотетичної солі.

Наприклад, в водах типу I (табл.4.2) частина іонів натрію ( $rNa^+$ )<sub>Cl</sub> врівноважує іони хлору. У еквівалентах ця частина іонів натрію дорівнює кількості іонів хлору ( $rCl^-$ ). Ще одна частина ( $rNa^+$ )<sub>S</sub> врівноважує і дорівнює  $rSO_4^{2-}$ . Залишок іонів натрію ( $rNa^+$ )<sub>C</sub>, рівний  $rNa^+ - rCl^- - rSO_4^{2-}$ , врівноважується деякою частиною гідрокарбонат-іонів ( $rHCO_3^-$ )<sub>Na</sub>. Ця частина іонів ( $rHCO_3^-$ )<sub>Na</sub> дорівнює ( $rNa^+$ )<sub>C</sub>, але з іншого боку ( $rHCO_3^-$ )<sub>Na</sub> можна розрахувати по-іншому:  $rHCO_3^- - rCa^{2+} - rMg^{2+}$ . Неважко показати, що залишок  $rNa^+ - rCl^- - rSO_4^{2-}$  дорівнює  $rHCO_3^- - rCa^{2+} - rMg^{2+}$ , виходячи з рівності суми аніонів ( $rHCO_3^- + rSO_4^{2-} + rCl^-$ ) і суми катіонів ( $rCa^{2+} + rMg^{2+} + rNa^+$ ).

Таблиця 4.2– Склад гіпотетичних солей в воді при різному співвідношенні головних іонів (за автором)

1) Концентраціятоксичних для рослин солей, мг/дм<sup>3</sup>:  $NaCl = 58,4 * rCl^-$ ;  $Na_2SO_4 = 71,0 * rSO_4^{2-}$ ;  $NaHCO_3 = 84,0 * (rNa^+ - rCl^- - rSO_4^{2-})$ .

Іон	$rNa^+$	$rMg^{2+}$	$rCa^{2+}$	Співвідношенняіонів (I)
$rCl^-$	$rCl^-$	0	0	$rCl^- + rSO_4^{2-} < rNa^+$ (или $rHCO_3^- > rCa^{2+} + rMg^{2+}$ )
$rSO_4^{2-}$	$rSO_4^{2-}$	0	0	
$rHCO_3^-$	$rNa^+ - rCl^- - rSO_4^{2-}$	$rMg^{2+}$	$rCa^{2+}$	

2) —“—:  $NaCl = 58,4 * rCl^-$ ;  $Na_2SO_4 = 71,0 * (rNa^+ - rCl^-)$ ;  $MgSO_4 = 60,2 * (rCl^- + rSO_4^{2-} - rNa^+)$ .

Іон	$rNa^+$	$rMg^{2+}$	$rCa^{2+}$	Співвідношенняіонів (IIa)
$rCl^-$	$rCl^-$	0	0	$rCl^- < rNa^+$ $rCl^- + rSO_4^{2-} \geq rNa^+$ $rHCO_3^- \geq rCa^{2+}$
$rSO_4^{2-}$	$rNa^+ - rCl^-$	$rCl^- + rSO_4^{2-} - rNa^+$	0	
$rHCO_3^-$	0	$rHCO_3^- - rCa^{2+}$	$rCa^{2+}$	

3) —“—:  $NaCl = 58,4 * rCl^-$ ;  $Na_2SO_4 = 71,0 * (rNa^+ - rCl^-)$ ;  $MgSO_4 = 60,2 * rMg^{2+}$ .

Іон	$rNa^+$	$rMg^{2+}$	$rCa^{2+}$	Співвідношенняіонів (IIб)
$rCl^-$	$rCl^-$	0	0	$rCl^- < rNa^+$ $rCl^- + rSO_4^{2-} \geq rNa^+$ $rHCO_3^- < rCa^{2+}$
$rSO_4^{2-}$	$rNa^+ - rCl^-$	$rMg^{2+}$	$rCa^{2+} - rHCO_3^-$	
$rHCO_3^-$	0	0	$rHCO_3^-$	

4) —“—:  $NaCl = 58,4 * rNa^+$ ;  $MgCl_2 = 47,6 * (rCl^- - rNa^+)$ ;  $MgSO_4 = 60,2 * rSO_4^{2-}$ .

Іон	$rNa^+$	$rMg^{2+}$	$rCa^{2+}$	Співвідношенняіонів (IIIa)
$rCl^-$	$rNa^+$	$rCl^- - rNa^+$	0	$rCl^- \geq rNa^+$ $rCl^- < rNa^+ + rMg^{2+}$ $rHCO_3^- \geq rCa^{2+}$
$rSO_4^{2-}$	0	$rSO_4^{2-}$	0	
$rHCO_3^-$	0	$rHCO_3^- - rCa^{2+}$	$rCa^{2+}$	

5) —“—:  $NaCl = 58,4 * rNa^+$ ;  $MgCl_2 = 47,6 * (rCl^- - rNa^+)$ ;  $MgSO_4 = 60,2 * (rNa^+ + rMg^{2+} - rCl^-)$ .

Іон	$rNa^+$	$rMg^{2+}$	$rCa^{2+}$	Співвідношенняіонів (IIIб)
$rCl^-$	$rNa^+$	$rCl^- - rNa^+$	0	$rCl^- \geq rNa^+$ $rCl^- < rNa^+ + rMg^{2+}$ $rHCO_3^- < rCa^{2+}$
$rSO_4^{2-}$	0	$rNa^+ + rMg^{2+} - rCl^-$	$rCa^{2+} - rHCO_3^-$	
$rHCO_3^-$	0	0	$rHCO_3^-$	

6) —“—:  $NaCl = 58,4 * rNa^+$ ;  $MgCl_2 = 47,6 * rMg^{2+}$ ;  $CaCl_2 = 55,5 * (rCl^- - rNa^+ - rMg^{2+})$ .

Іон	$rNa^+$	$rMg^{2+}$	$rCa^{2+}$	Співвідношенняіонів (IIIв)
$rCl^-$	$rNa^+$	$rMg^{2+}$	$rCl^- - rNa^+ - rMg^{2+}$	$rCl^- \geq rNa^+ + rMg^{2+}$ (або $rHCO_3^- + rSO_4^{2-} < rCa^{2+}$ )
$rSO_4^{2-}$	0	0	$rSO_4^{2-}$	
$rHCO_3^-$	0	0	$rHCO_3^-$	

У еквівалентах концентрація передбачуваної солі дорівнює подвоєному значенню концентрації іона, що стоїть у відповідній клітинці (табл. 4.2): в водах типу I концентрація  $NaHCO_3$  дорівнює  $2(rNa^+ - rCl^- - rSO_4^{2-})$  або  $2(rHCO_3^- - rCa^{2+} - rMg^{2+})$ ; концентрація  $NaCl$  дорівнює  $2rCl^-$ .

У воді іони  $rNa^+$  і  $rCl^-$  завжди токсичні, вони утворюють токсичні солі. Інші іони можуть бути, як токсичними, так і нетоксичними в залежності від того, якими іонами вони врівноважені. Іони  $rMg^{2+}$  в водах I підтипу нетоксичні (табл. 1), вони усі врівноважені частиною гідрокарбонат-іонів. В водах підтипу Пб усі іони  $rMg^{2+}$  токсичні, вони врівноважені частиною сульфат-іонів.

Для перекладу концентрації солі з еквівалентної форми (мг-екв/дм<sup>3</sup>) в вагову (мг/дм<sup>3</sup>) необхідно: значення еквівалентної концентрації іонів, що утворюють сіль, помножити на їх іонну вагу, розділити на валентність цих іонів і скласти.

## 5 ВИХІДНІ ДАННІ

В якості вихідних даних було взято показники якості води річки Дунай, район міста Вилкове, а саме: мінералізація,  $CO_3^{2-}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+ + K^+$ , у теплий період (березень, квітень, травень, червень, липень), з 2001 по 2017 роки.

Таблиця 5.1 – Вихідні данні показників якості води річки Дунай, район міста Вилкове, у теплий період 2001-2017 роки

№	Дата	мг/дм <sup>3</sup>								
		Заг. мін.	$CO_3^{2-}$	$HCO_3^-$	$SO_4^{2-}$	Cl <sup>-</sup>	$Ca^{2+}$	$Mg^{2+}$	$Na^+$	$K^+$
			30,00	61,02	48,03	35,45	20,04	12,15	22,99	39,10
1	11.04.2001	324,20		170,1	38,1	29	52,3	9,7	22,8	
2	22.05.2001	330,90		177,8	45	21,9	53,7	11,4	19,6	
3	18.06.2001	284,70		154,4	33,5	22,9	46,8	10,5	15,5	
4	15.08.2001	273,30		148,3	32,3	22,6	41,9	12	15,2	
5	04.09.2001	287,10		146,4	38,3	26	41,5	10,9	22,1	
6	10.04.2002	328,60		183,7	37	24,1	56,3	13	13,4	
7	29.05.2002	290,20		160,5	34,1	21,6	47,8	12,2	12,9	
8	10.06.2002	303,90		169,6	33,5	22,5	48,6	11,9	16,3	
9	09.07.2002	309,00		163,5	39,2	25,1	45	11,9	22,5	
10	14.08.2002	285,70		142,8	36,9	30,6	40,1	13,3	20,1	
11	24.09.2002	286,10		155,6	35,9	22,4	48,8	13,2	9,4	
12	15.04.2004	274,90		156,8	32,9	19,2	50,2	11,4	8,1	
13	11.05.2004	288,40		167,2	30,2	17,6	50,3	10,2	11,9	
14	08.06.2004	296,10		169	29,4	22,4	48,2	12,3	13,7	
15	27.07.2004	276,30		147,1	31,1	26,2	43,2	11,6	15,8	
16	05.04.2005	334,30		177	40,5	30	52,9	14,2	18,0	
17	24.05.2005	318,10		172,5	39,9	23,4	50,3	12,5	17,9	
18	19.07.2005	332,30		180	35,4	29,4	49,8	12,3	23,4	
19	18.08.2005	380,50		200,8	40	38,7	62,1	13,1	23,9	
20	20.09.2005	316,40		181,4	32,7	22,1	52,2	12,9	14,0	
21	11.04.2006	351,80		185,2	45,2	30,6	56,1	15,4	17,8	
22	16.05.2006	324,10		179,4	36,8	25	55	13,4	13,0	
23	20.06.2006	302,10		171,6	30,2	23,6	50,3	12,8	12,5	
24	25.07.2006	326,00		176,7	37,8	27,6	51,1	14,2	17,1	
25	29.08.2006	315,90		165,3	37,9	30,5	47,1	14,4	18,9	
26	19.09.2006	338,50		182,2	37,8	30,6	52,7	14,2	19,3	

Продовження табл. 5.1

27	24.04.2007	322,80		178,1	35,5	27	54,1	14,1	12,9	
28	23.05.2007	308,10		157,8	38,4	30,8	43,6	13,6	22,1	
29	12.06.2007	310,80		153,6	40,3	34,5	41,9	15	23,1	
30	02.07.2007	286,00		143,7	37,8	29,3	40,3	13,1	20,2	
31	07.08.2007	255,60		130,1	32,8	26,2	35,7	12,8	16,5	
32	04.09.2007	281,60		147,7	28,8	29,1	36,5	10,3	26,9	
33	08.04.2008	305,50		172	32,3	24,2	53,1	13,5	9,5	
34	20.05.2008	302,80		168,2	33,5	24,5	50,5	13,9	11,1	
35	19.06.2008	271,40		147,3	30,2	25,3	43,7	13,6	10,5	
36	22.07.2008	261,90		137,3	34,1	23,8	40,7	13,3	11,6	
37	13.08.2008	264,40		141,2	33,3	23,8	43,1	14,2	8,3	
38	16.09.2008	265,20		143,4	33,9	21,2	41,5	13,6	10,7	
39	06.04.2009	329,40		171,1	41,4	31,2	53,1	13,9	17,3	
40	19.05.2009	306,10		173,7	30	23,3	49,9	11,2	16,5	
41	09.06.2009	287,60		157,4	30,5	25	45,7	11,3	16,3	
42	07.07.2009	284,90		147,6	34,4	27	44,2	10	20,0	
43	04.08.2009	280,20		158,6	29,4	20,8	44,7	12	13,3	
44	21.09.2009	301,70		160	35	26,6	48,7	9,7	20,1	
45	13.04.2010	375,60		199	46,3	34,2	60,1	17,6	17,1	
46	11.05.2010	327,80		180,1	41,4	24,3	53,3	16,3	11,4	
47	16.06.2010	303,60		174,3	31,3	21,4	51,1	12,9	11,5	
48	22.07.2010	336,20		191	37	22,2	52,1	14,7	16,5	
49	20.08.2010	323,60		178,5	36	26,6	50,3	15	15,7	
50	21.09.2010	325,10		184,8	34,6	26,7	51,7	19,7	6,9	
51	05.04.2011	426,80		228,1	53,3	35,9	62,9	20,1	24,5	
52	18.05.2011	363,10		192,3	42,3	35,3	55,1	17,7	18,9	
53	21.06.2011	334,20		171,7	39,5	35,3	47,5	15,3	23,1	
54	22.07.2011	280,80		144,6	33,1	29,1	39,5	12,5	20,2	
55	09.08.2011	306,70		159,3	37,2	29,2	41,5	13,1	24,4	
56	13.09.2011	281,40		154,5	32,1	24,9	43,5	15,9	9,7	
57	18.04.2012	329,00		169,3	33,1	34	51,5	13	18,0	
58	16.05.2012	307,70		164,7	30,7	27,7	50,1	11,2	16,0	
59	19.06.2012	303,30		157,4	41,4	20,2	48,3	9,8	18,3	
60	24.07.2012	268,90		148,9	26,7	21,6	42,7	11,5	12,1	
61	14.08.2012	266,20		135,4	32,1	26,5	38,9	11,9	16,4	
62	21.09.2012	271,70		138,7	36	23,2	39,3	13,7	13,5	
63	09.04.2013	311,10		168,2	34,2	29,4	51,9	14,6	11,6	
64	23.05.2013	294,00		165	31,3	23	49,1	12,4	12,3	
65	20.06.2013	307,30		169,6	32,3	24,5	51,5	13,4	10,8	
66	23.07.2013	314,80		175,7	30	24,5	49,9	14,3	12,1	
67	22.08.2013	315,40		156,1	44	28,9	43,1	13,1	24,4	
68	24.09.2013	307,10		151,8	37,2	34,5	42,3	15,8	19,0	
69	22.04.2014	378,50		194,3	41,1	37,4	58,3	14,7	22,4	
70	21.05.2014	324,60		173,4	32,5	28,5	51,3	12	17,8	
71	23.06.2014	319,70		180	29,8	24,3	51,5	13	14,2	

Кінець табл. 5.1

72	22.07.2014	308,30		165,8	31,5	27,5	48,1	11,7	18,1	
73	21.08.2014	296,50		163,5	31,9	21,4	48,5	11,6	13,2	
74	23.09.2014	300,60		175,1	26,5	18,2	51,5	12,2	8,3	
75	21.04.2015	377,80		209,3	39,1	25,2	58,7	12	23,9	
76	21.05.2015	340,70		189,7	34,6	25,1	52,9	13,6	17,9	
77	22.06.2015	317,80		179,9	28,4	21,4	51,7	11,6	14,0	
78	23.07.2015	307,20		162,4	33,5	27,5	44,3	13	19,6	
79	20.08.2015	291,30		148,7	36,4	29,8	39,3	15,9	17,6	
80	22.09.2015	311,10		154	37,4	33	42,1	13,4	23,7	
81	21.04.2016	369,80		204,2	35,6	28,5	59,1	12,4	21,2	
82	20.05.2016	338,70		178,2	35,6	31,7	53,5	13	18,8	
83	22.06.2016	318,30		172,7	32,9	27,2	48,3	14,2	16,2	
84	19.07.2016	317,30		181,8	28,2	22,4	44,9	12,8	20,8	
85	16.08.2016	278,50		153,8	27,4	21,7	43,3	10,5	15,6	
86	19.09.2016	320,30		184,3	27,6	27,7	44,1	21,8	8,8	
87	24.04.2017	381,10		197,7	39,3	35,1	58,9	12,8	24,3	
88	22.05.2017	349,00		192,8	32,5	29,1	58,9	12,3	16,2	
89	26.06.2017	320,40		172,1	32,1	29,9	49,7	12,9	18,2	
90	21.07.2017	303,70		158	33,9	31,2	43,7	13,6	20,1	
91	22.08.2017	267,80		134,2	33,5	28,5	37,9	13,3	16,4	
92	20.09.2017	278,40		147,1	29,2	26,2	42,3	13	13,3	
	СРЗНАЧ	311		167	35	26,7	48,4	13,2	16,6	
	МІН	256		130	26,5	17,6	35,7	9,70	6,9	0,00
	МАКС	427		228	53	38,7	62,9	21,8	26,9	0,00

На основі вихідних даних, наведених у табл.5.1, було проведено статистичну обробку гідрохімічних спостережень р.Дунай (м.Вилкове) (теплий період) і розраховані їх іригаційні характеристики, які наведені у табл. 5.2

Таблиця 5.2 – Концентрація гіпотетичних солей (мг-екв./дм<sup>3</sup>) в водах Дунаю (м.Вилкове) (теплий період)

Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Mg(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	ΣHCO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	MgSO <sub>4</sub>	ΣSO <sub>4</sub>	NaCl	MgCl <sub>2</sub>	ΣCl
2,61	0,18	2,79	0,17	0,62	0,79	0,82	0,00	0,82
2,68	0,23	2,91	0,23	0,70	0,94	0,62	0,00	0,62



Продовження табл. 5.2

2,34	0,19	2,53	0,03	0,67	0,70	0,65	0,00	0,65
2,09	0,34	2,43	0,02	0,65	0,67	0,64	0,00	0,64
2,07	0,33	2,40	0,23	0,57	0,80	0,73	0,00	0,73
2,81	0,20	3,01	0,00	0,77	0,77	0,58	0,10	0,68
2,39	0,25	2,63	0,00	0,71	0,71	0,56	0,05	0,61
2,43	0,35	2,78	0,07	0,62	0,70	0,63	0,00	0,63
2,25	0,43	2,68	0,27	0,55	0,82	0,71	0,00	0,71
2,00	0,34	2,34	0,01	0,76	0,77	0,86	0,00	0,86
2,44	0,11	2,55	0,00	0,75	0,75	0,41	0,22	0,63
2,51	0,06	2,57	0,00	0,68	0,68	0,35	0,19	0,54
2,51	0,23	2,74	0,02	0,61	0,63	0,50	0,00	0,50
2,41	0,36	2,77	0,00	0,61	0,61	0,60	0,04	0,63
2,16	0,26	2,41	0,00	0,65	0,65	0,69	0,05	0,74
2,64	0,26	2,90	0,00	0,84	0,84	0,78	0,06	0,85
2,51	0,32	2,83	0,12	0,71	0,83	0,66	0,00	0,66
2,49	0,46	2,95	0,19	0,55	0,74	0,83	0,00	0,83
3,10	0,19	3,29	0,00	0,83	0,83	1,04	0,05	1,09
2,60	0,37	2,97	0,00	0,68	0,68	0,61	0,01	0,62
2,80	0,24	3,04	0,00	0,94	0,94	0,77	0,09	0,86
2,74	0,20	2,94	0,00	0,77	0,77	0,56	0,14	0,71
2,51	0,30	2,81	0,00	0,63	0,63	0,54	0,12	0,67
2,55	0,35	2,90	0,00	0,79	0,79	0,74	0,04	0,78
2,35	0,36	2,71	0,00	0,79	0,79	0,82	0,04	0,86
2,63	0,36	2,99	0,00	0,79	0,79	0,84	0,03	0,86
2,70	0,22	2,92	0,00	0,74	0,74	0,56	0,20	0,76
2,18	0,41	2,59	0,09	0,71	0,80	0,87	0,00	0,87
2,09	0,43	2,52	0,03	0,81	0,84	0,97	0,00	0,97
2,01	0,34	2,36	0,05	0,73	0,79	0,83	0,00	0,83
1,78	0,35	2,13	0,00	0,68	0,68	0,72	0,02	0,74
1,82	0,60	2,42	0,35	0,25	0,60	0,82	0,00	0,82
2,65	0,17	2,82	0,00	0,67	0,67	0,41	0,27	0,68
2,52	0,24	2,76	0,00	0,70	0,70	0,48	0,21	0,69
2,18	0,23	2,41	0,00	0,63	0,63	0,46	0,26	0,71
2,03	0,22	2,25	0,00	0,71	0,71	0,51	0,17	0,67
2,15	0,16	2,31	0,00	0,69	0,69	0,36	0,31	0,67
2,07	0,28	2,35	0,00	0,71	0,71	0,46	0,13	0,60
2,65	0,15	2,80	0,00	0,86	0,86	0,75	0,13	0,88
2,49	0,36	2,85	0,06	0,57	0,62	0,66	0,00	0,66
2,28	0,30	2,58	0,00	0,63	0,63	0,71	0,00	0,71
2,21	0,21	2,42	0,11	0,61	0,72	0,76	0,00	0,76
2,23	0,37	2,60	0,00	0,61	0,61	0,58	0,01	0,59
2,43	0,19	2,62	0,12	0,61	0,73	0,75	0,00	0,75
3,00	0,26	3,26	0,00	0,96	0,96	0,74	0,22	0,96
2,66	0,29	2,95	0,00	0,86	0,86	0,50	0,19	0,69
2,55	0,31	2,86	0,00	0,65	0,65	0,50	0,10	0,60



Кінець табл. 5.2

2,60	0,53	3,13	0,09	0,68	0,77	0,63	0,00	0,63
2,51	0,42	2,93	0,00	0,75	0,75	0,68	0,07	0,75
2,58	0,45	3,03	0,00	0,72	0,72	0,30	0,45	0,75
3,14	0,60	3,74	0,06	1,05	1,11	1,01	0,00	1,01
2,75	0,40	3,15	0,00	0,88	0,88	0,82	0,17	1,00
2,37	0,44	2,81	0,01	0,82	0,82	1,00	0,00	1,00
1,97	0,40	2,37	0,06	0,63	0,69	0,82	0,00	0,82
2,07	0,54	2,61	0,24	0,54	0,77	0,82	0,00	0,82
2,17	0,36	2,53	0,00	0,67	0,67	0,42	0,28	0,70
2,57	0,20	2,77	0,00	0,69	0,69	0,78	0,18	0,96
2,50	0,20	2,70	0,00	0,64	0,64	0,70	0,08	0,78
2,41	0,17	2,58	0,22	0,64	0,86	0,57	0,00	0,57
2,13	0,31	2,44	0,00	0,56	0,56	0,53	0,08	0,61
1,94	0,28	2,22	0,00	0,67	0,67	0,71	0,03	0,75
1,96	0,31	2,27	0,00	0,75	0,75	0,59	0,07	0,65
2,59	0,17	2,76	0,00	0,71	0,71	0,51	0,32	0,83
2,45	0,25	2,70	0,00	0,65	0,65	0,53	0,11	0,65
2,57	0,21	2,78	0,00	0,67	0,67	0,47	0,22	0,69
2,49	0,39	2,88	0,00	0,62	0,62	0,53	0,16	0,69
2,15	0,41	2,56	0,25	0,67	0,92	0,82	0,00	0,82
2,11	0,38	2,49	0,00	0,77	0,77	0,82	0,15	0,97
2,91	0,28	3,18	0,00	0,86	0,86	0,98	0,08	1,06
2,56	0,28	2,84	0,00	0,68	0,68	0,77	0,03	0,80
2,57	0,38	2,95	0,00	0,62	0,62	0,62	0,07	0,69
2,40	0,32	2,72	0,01	0,65	0,66	0,78	0,00	0,78
2,42	0,26	2,68	0,00	0,66	0,66	0,57	0,03	0,60
2,57	0,30	2,87	0,00	0,55	0,55	0,36	0,15	0,51
2,93	0,50	3,43	0,33	0,49	0,81	0,71	0,00	0,71
2,64	0,47	3,11	0,07	0,65	0,72	0,71	0,00	0,71
2,58	0,37	2,95	0,01	0,59	0,59	0,60	0,00	0,60
2,21	0,45	2,66	0,08	0,62	0,70	0,78	0,00	0,78
1,96	0,48	2,44	0,00	0,76	0,76	0,77	0,07	0,84
2,10	0,42	2,52	0,10	0,68	0,78	0,93	0,00	0,93
2,95	0,40	3,35	0,12	0,62	0,74	0,80	0,00	0,80
2,67	0,25	2,92	0,00	0,74	0,74	0,82	0,08	0,89
2,41	0,42	2,83	0,00	0,68	0,68	0,70	0,06	0,77
2,24	0,74	2,98	0,27	0,31	0,59	0,63	0,00	0,63
2,16	0,36	2,52	0,07	0,50	0,57	0,61	0,00	0,61
2,20	0,82	3,02	0,00	0,57	0,57	0,38	0,40	0,78
2,94	0,30	3,24	0,07	0,75	0,82	0,99	0,00	0,99
2,94	0,22	3,16	0,00	0,68	0,68	0,71	0,12	0,82
2,48	0,34	2,82	0,00	0,67	0,67	0,79	0,05	0,84
2,18	0,41	2,59	0,00	0,71	0,71	0,88	0,00	0,88
1,89	0,31	2,20	0,00	0,70	0,70	0,72	0,09	0,80
2,11	0,30	2,41	0,00	0,61	0,61	0,58	0,16	0,74

Таблиця 5.3– Концентрація гіпотетичних солей (мг/дм<sup>3</sup>) в водах Дунаю  
(м.Вилкове) (теплий період)

Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Mg(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	MgSO <sub>4</sub>	NaCl	MgCl <sub>2</sub>	ΣРАСЧ	ΣНАБЛ	Σ токс. солей
81,06	73,17	71,02	60,18	58,44	47,60			
211,5	13,0	12,3	37,3	47,8	0,0	322	322	97
217,2	17,1	16,5	42,4	36,1	0,0	329	329	95
189,3	14,3	2,0	40,3	37,8	0,0	284	284	80
169,5	24,8	1,7	39,0	37,3	0,0	272	272	78
167,9	24,0	16,3	34,2	42,9	0,0	285	285	93
227,7	14,7	0,0	46,4	34,0	4,7	327	327	85
193,3	17,9	0,0	42,7	32,8	2,3	289	289	78
196,6	25,9	5,1	37,6	37,1	0,0	302	302	80
182,0	31,8	19,2	32,8	41,4	0,0	307	307	93
162,2	24,8	0,9	45,5	50,4	0,0	284	284	97
197,4	8,4	0,0	45,0	23,8	10,7	285	285	79
203,1	4,7	0,0	41,2	20,6	9,0	279	279	71
203,5	16,8	1,4	36,7	29,0	0,0	287	287	67
195,0	26,7	0,0	36,8	34,8	1,7	295	295	73
174,7	18,7	0,0	39,0	40,1	2,5	275	275	82
214,0	19,1	0,0	50,7	45,7	3,1	333	333	100
203,5	23,2	8,5	42,8	38,6	0,0	317	317	90
201,4	34,0	13,5	32,9	48,5	0,0	330	330	95
251,2	14,0	0,0	50,1	60,7	2,5	379	379	113
211,1	26,9	0,0	41,0	35,7	0,6	315	315	77
226,9	17,2	0,0	56,6	45,2	4,3	350	350	106
222,5	14,3	0,0	46,1	33,0	6,7	323	323	86
203,5	22,1	0,0	37,8	31,8	5,8	301	301	75
206,7	25,3	0,0	47,4	43,4	1,7	324	324	92
190,5	26,2	0,0	47,5	48,1	1,8	314	314	97
213,2	26,1	0,0	47,4	49,0	1,2	337	337	98
218,8	16,0	0,0	44,5	32,7	9,6	322	322	87
176,4	30,0	6,4	42,7	50,8	0,0	306	306	100
169,5	31,2	2,2	48,6	56,9	0,0	308	308	108
163,0	25,2	3,8	44,2	48,3	0,0	284	284	96
144,4	25,7	0,0	41,1	42,0	0,9	254	254	84
147,6	43,8	24,9	14,9	48,0	0,0	279	279	88
214,8	12,4	0,0	40,5	24,2	12,8	305	305	77
204,3	17,3	0,0	42,0	28,1	10,0	302	302	80
176,8	17,1	0,0	37,8	26,7	12,2	271	271	77
164,6	16,0	0,0	42,7	29,6	7,9	261	261	80
174,3	11,9	0,0	41,7	21,0	14,8	264	264	78
167,9	20,4	0,0	42,5	27,1	6,4	264	264	76
214,8	11,3	0,0	51,9	44,0	6,1	328	328	102

201,8	26,1	4,2	34,0	38,4	0,0	305	305	77
Продовження табл. 5.3								
184,9	21,9	0,3	38,0	41,2	0,0	286	286	79
178,8	15,6	7,6	36,7	44,5	0,0	283	283	89
180,8	27,0	0,0	36,8	33,9	0,3	279	279	71
197,0	14,0	8,7	36,5	43,9	0,0	300	300	89
243,1	19,2	0,0	58,0	43,4	10,6	374	374	112
215,6	21,4	0,0	51,9	29,1	8,9	327	327	90
206,7	22,4	0,0	39,2	29,2	4,9	303	303	73
210,7	38,8	6,5	40,9	36,6	0,0	333	333	84
203,5	30,4	0,0	45,1	39,8	3,3	322	322	88
209,1	32,8	0,0	43,4	17,6	21,5	324	324	82
254,4	43,9	3,9	63,5	59,2	0,0	425	425	127
222,9	29,4	0,0	53,0	48,0	8,3	362	362	109
192,1	32,5	0,5	49,1	58,2	0,0	332	332	108
159,8	29,2	4,2	37,9	48,0	0,0	279	279	90
167,9	39,5	16,8	32,4	48,1	0,0	305	305	97
176,0	26,4	0,0	40,2	24,8	13,3	281	281	78
208,3	15,0	0,0	41,5	45,8	8,4	319	319	96
202,7	14,6	0,0	38,5	40,8	4,0	300	300	83
195,4	12,4	16,0	38,3	33,3	0,0	295	295	88
172,7	22,6	0,0	33,5	30,9	3,9	264	264	68
157,3	20,3	0,0	40,2	41,8	1,6	261	261	84
159,0	22,8	0,0	45,1	34,4	3,1	264	264	83
209,9	12,2	0,0	42,9	29,6	15,4	310	310	88
198,6	18,6	0,0	39,2	31,2	5,5	293	293	76
208,3	15,3	0,0	40,5	27,5	10,5	302	302	78
201,8	28,5	0,0	37,6	30,9	7,7	307	307	76
174,3	29,8	17,4	40,4	47,6	0,0	310	310	105
171,1	27,6	0,0	46,6	48,2	7,1	301	301	102
235,8	20,1	0,0	51,5	57,0	3,8	368	368	112
207,5	20,6	0,0	40,7	45,3	1,4	316	316	87
208,3	27,8	0,0	37,3	36,0	3,3	313	313	77
194,6	23,2	0,7	38,9	45,3	0,0	303	303	85
196,2	19,0	0,0	40,0	33,5	1,5	290	290	75
208,3	21,9	0,0	33,2	21,1	7,3	292	292	62
237,4	36,7	23,3	29,3	41,5	0,0	368	368	94
214,0	34,3	5,0	39,1	41,4	0,0	334	334	85
209,1	27,0	0,4	35,3	35,3	0,0	307	307	71
179,2	33,0	5,6	37,2	45,3	0,0	300	300	88
159,0	34,8	0,0	45,6	44,8	3,6	288	288	94
170,3	30,9	7,0	40,9	54,4	0,0	304	304	102
239,1	29,1	8,4	37,5	47,0	0,0	361	361	93
216,4	18,3	0,0	44,6	47,7	3,7	331	331	96
195,4	30,7	0,0	41,2	41,1	3,0	311	311	85
181,6	54,1	19,4	18,9	36,9	0,0	311	311	75

175,1	26,3	4,7	30,3	35,8	0,0	272	272	71
-------	------	-----	------	------	-----	-----	-----	----

Кінець табл. 5.3

178,4	60,0	0,0	34,6	22,3	19,0	314	314	76
238,2	22,0	4,7	45,3	57,9	0,0	368	368	108
238,2	16,1	0,0	40,7	41,3	5,5	342	342	87
201,0	24,9	0,0	40,2	46,2	2,5	315	315	89
176,8	29,9	0,0	42,5	51,2	0,2	301	301	94
153,3	22,5	0,0	42,0	41,8	4,2	264	264	88
171,1	21,9	0,0	36,6	33,7	7,7	271	271	78

Таблиця 5.4 – Оцінка небезпеки осолонцювання

Стеблер Х.			Можейко А.М., Воротнік Т.К.		Антипов-Каратаєв І.Н., Кадер Г.М.		
Тип вод	$K_H$	Оцінка якості вод	$K$	Оцінка якості вод	$0,23 \cdot M_0$	ПКО	Оцінка якості вод
2	67,6	добра	36,8	спиятл.	0,075	1,72	придатна
2	86,7	добра	32,0	спиятл.	0,076	2,13	придатна
2	88,4	добра	29,7	спиятл.	0,065	2,37	придатна
2	89,7	добра	30,1	спиятл.	0,063	2,32	придатна
2	73,9	добра	39,3	спиятл.	0,066	1,54	придатна
3	84,7	добра	23,1	спиятл.	0,076	3,34	придатна
3	94,5	добра	24,9	спиятл.	0,067	3,02	придатна
2	88,7	добра	29,4	спиятл.	0,070	2,41	придатна
2	75,6	добра	37,8	спиятл.	0,071	1,65	придатна
2	66,5	добра	36,1	спиятл.	0,066	1,77	придатна
3	91,2	добра	18,8	спиятл.	0,066	4,32	придатна
3	106,4	добра	17,0	спиятл.	0,063	4,88	придатна
2	115,1	добра	23,6	спиятл.	0,066	3,25	придатна
3	91,2	добра	25,9	спиятл.	0,068	2,87	придатна
3	77,9	добра	30,6	спиятл.	0,064	2,26	придатна
3	68,1	добра	29,1	спиятл.	0,077	2,44	придатна
2	84,2	добра	30,6	спиятл.	0,073	2,27	придатна
2	66,4	добра	36,8	спиятл.	0,076	1,72	придатна
3	52,8	добра	33,2	спиятл.	0,088	2,01	придатна
3	92,4	добра	25,0	спиятл.	0,073	3,00	придатна
3	66,7	добра	27,5	спиятл.	0,081	2,63	придатна
3	81,7	добра	22,7	спиятл.	0,075	3,41	придатна
3	86,5	добра	23,4	спиятл.	0,069	3,28	придатна
3	74,0	добра	28,6	спиятл.	0,075	2,50	придатна
3	66,9	добра	31,8	спиятл.	0,073	2,15	придатна
3	66,7	добра	30,6	спиятл.	0,078	2,27	придатна
3	75,6	добра	22,5	спиятл.	0,074	3,45	придатна
2	64,9	добра	36,8	спиятл.	0,071	1,72	придатна
2	58,8	добра	37,7	спиятл.	0,071	1,66	придатна

2	68,8	добра	36,3	спиятл.	0,066	1,76	придатна
Продовження табл. 5.4							
3	77,9	добра	33,7	спиятл.	0,059	1,97	придатна
2	64,6	добра	46,8	спиятл.	0,065	1,14	придатна
3	84,4	добра	18,0	спиятл.	0,070	4,55	придатна
3	83,3	добра	20,8	спиятл.	0,070	3,81	придатна
3	80,7	добра	21,7	спиятл.	0,062	3,61	придатна
3	85,8	добра	24,5	спиятл.	0,060	3,09	придатна
3	85,8	добра	17,8	спиятл.	0,061	4,62	придатна
3	96,3	добра	22,5	спиятл.	0,061	3,44	придатна
3	65,4	добра	28,4	спиятл.	0,076	2,52	придатна
2	86,1	добра	29,6	спиятл.	0,070	2,38	придатна
2	81,6	добра	30,6	спиятл.	0,066	2,26	придатна
2	73,6	добра	36,4	спиятл.	0,066	1,74	придатна
3	98,2	добра	26,5	спиятл.	0,064	2,77	придатна
2	74,3	добра	35,1	спиятл.	0,069	1,85	придатна
3	59,7	добра	25,0	спиятл.	0,086	2,99	придатна
3	84,0	добра	19,9	спиятл.	0,075	4,02	придатна
3	95,4	добра	21,7	спиятл.	0,070	3,61	придатна
2	89,4	добра	27,4	спиятл.	0,077	2,66	придатна
3	76,8	добра	26,7	спиятл.	0,074	2,75	придатна
3	76,5	добра	12,5	спиятл.	0,075	6,97	придатна
2	56,3	добра	30,8	спиятл.	0,098	2,24	придатна
3	57,8	добра	28,1	спиятл.	0,084	2,56	придатна
2	57,8	добра	35,6	спиятл.	0,077	1,81	придатна
2	69,2	добра	37,0	спиятл.	0,065	1,70	придатна
2	66,1	добра	40,2	спиятл.	0,071	1,49	придатна
3	82,0	добра	19,6	спиятл.	0,065	4,11	придатна
3	60,1	добра	30,1	спиятл.	0,076	2,32	придатна
3	73,7	добра	29,0	спиятл.	0,071	2,45	придатна
2	93,7	добра	33,1	спиятл.	0,070	2,02	придатна
3	94,5	добра	25,6	спиятл.	0,062	2,91	придатна
3	77,1	добра	32,9	спиятл.	0,061	2,04	придатна
3	88,0	добра	27,6	спиятл.	0,062	2,62	придатна
3	69,5	добра	21,1	спиятл.	0,072	3,74	придатна
3	88,8	добра	23,5	спиятл.	0,068	3,25	придатна
3	83,3	добра	20,4	спиятл.	0,071	3,90	придатна
3	83,3	добра	22,4	спиятл.	0,072	3,47	придатна
2	66,6	добра	39,7	спиятл.	0,073	1,52	придатна
3	59,2	добра	32,6	спиятл.	0,071	2,07	придатна
3	54,6	добра	32,2	спиятл.	0,087	2,11	придатна
3	71,6	добра	30,4	спиятл.	0,075	2,29	придатна
3	84,0	добра	25,3	спиятл.	0,074	2,95	придатна
2	74,1	добра	31,8	спиятл.	0,071	2,14	придатна
3	95,4	добра	25,3	спиятл.	0,068	2,95	придатна
3	112,2	добра	16,8	спиятл.	0,069	4,95	придатна

2	74,2	добра	34,6	спиятл.	0,087	1,89	придатна
---	------	-------	------	---------	-------	------	----------

Кінець табл. 5.4

2	79,8	добра	29,3	спиятл.	0,078	2,41	придатна
2	95,3	добра	25,6	спиятл.	0,073	2,90	придатна
2	72,8	добра	34,2	спиятл.	0,071	1,92	придатна
3	68,5	добра	31,9	спиятл.	0,067	2,13	придатна
2	60,6	добра	39,1	спиятл.	0,072	1,56	придатна
2	69,6	добра	31,7	спиятл.	0,085	2,15	придатна
3	64,4	добра	30,4	спиятл.	0,078	2,29	придатна
3	75,1	добра	28,2	спиятл.	0,073	2,54	придатна
2	83,9	добра	35,5	спиятл.	0,073	1,82	придатна
2	92,1	добра	31,0	спиятл.	0,064	2,23	придатна
3	73,7	добра	16,1	спиятл.	0,074	5,23	придатна
2	57,4	добра	34,6	спиятл.	0,088	1,89	придатна
3	70,2	добра	26,3	спиятл.	0,080	2,80	придатна
3	68,3	добра	30,9	спиятл.	0,074	2,24	придатна
3	65,4	добра	34,7	спиятл.	0,070	1,88	придатна
3	71,6	добра	32,4	спиятл.	0,062	2,09	придатна
3	77,9	добра	26,6	спиятл.	0,064	2,76	придатна

Таблиця 5.5 – Оцінка небезпеки осолонцювання і засолення  
(за Костяковим А.М.)

Буданов М.Ф.				Департамент сільськ.господарства США		Костяков А.М.	
$K_1$	$K_2$	$K_3$	Оцінка якості вод	SAR	Небезпека осолонц.	Загальна мінераліз.	Оцінка якості вод
0,38	0,29	0,00	придатна	0,759	низька	324	добра
0,32	0,24	0,00	придатна	0,633	низька	331	добра
0,29	0,21	0,00	придатна	0,533	низька	285	добра
0,32	0,22	0,00	придатна	0,534	низька	273	добра
0,46	0,32	0,00	придатна	0,790	низька	287	добра
0,21	0,15	0,00	придатна	0,418	низька	329	добра
0,23	0,17	0,00	придатна	0,430	низька	290	добра
0,29	0,21	0,00	придатна	0,542	низька	304	добра
0,44	0,30	0,00	придатна	0,771	низька	309	добра
0,44	0,28	0,00	придатна	0,704	низька	286	добра
0,17	0,12	0,00	придатна	0,307	низька	286	добра
0,14	0,10	0,00	придатна	0,269	низька	275	добра
0,21	0,15	0,00	придатна	0,399	низька	288	добра
0,25	0,17	0,00	придатна	0,456	низька	296	добра
0,32	0,22	0,00	придатна	0,551	низька	276	добра
0,30	0,21	0,00	придатна	0,567	низька	334	добра
0,31	0,22	0,00	придатна	0,586	низька	318	добра



Продовження табл. 5.5

0,41	0,29	0,00	придатна	0,771	низька	332	добра
0,34	0,25	0,00	придатна	0,719	низька	381	добра
0,23	0,17	0,00	придатна	0,451	низька	316	добра
0,28	0,19	0,00	придатна	0,542	низька	352	добра
0,21	0,15	0,00	придатна	0,407	низька	324	добра
0,22	0,15	0,00	придатна	0,407	низька	302	добра
0,29	0,20	0,00	придатна	0,545	низька	326	добра
0,35	0,23	0,00	придатна	0,619	низька	316	добра
0,32	0,22	0,00	придатна	0,608	низька	339	добра
0,21	0,14	0,00	придатна	0,403	низька	323	добра
0,44	0,29	0,00	придатна	0,748	низька	308	добра
0,48	0,30	0,00	придатна	0,779	низька	311	добра
0,44	0,28	0,00	придатна	0,708	низька	286	добра
0,40	0,25	0,00	придатна	0,604	низька	256	добра
0,64	0,44	0,00	придатна	1,015	низька	282	добра
0,16	0,11	0,00	придатна	0,301	низька	306	добра
0,19	0,13	0,00	придатна	0,356	низька	303	добра
0,21	0,14	0,00	придатна	0,356	низька	271	добра
0,25	0,16	0,00	придатна	0,405	низька	262	добра
0,17	0,11	0,00	придатна	0,279	низька	264	добра
0,22	0,15	0,00	придатна	0,367	низька	265	добра
0,28	0,20	0,00	придатна	0,546	низька	329	добра
0,29	0,21	0,00	придатна	0,549	низька	306	добра
0,31	0,22	0,00	придатна	0,560	низька	288	добра
0,39	0,29	0,00	придатна	0,706	низька	285	добра
0,26	0,18	0,00	придатна	0,457	низька	280	добра
0,36	0,27	0,00	придатна	0,687	низька	302	добра
0,25	0,17	0,00	придатна	0,498	низька	376	добра
0,19	0,12	0,00	придатна	0,352	низька	328	добра
0,20	0,14	0,00	придатна	0,372	низька	304	добра
0,28	0,19	0,00	придатна	0,520	низька	336	добра
0,27	0,18	0,00	придатна	0,498	низька	324	добра
0,12	0,07	0,00	придатна	0,208	низька	325	добра
0,34	0,22	0,00	придатна	0,690	низька	427	обер. підх.
0,30	0,20	0,00	придатна	0,567	низька	363	добра
0,42	0,28	0,00	придатна	0,744	низька	334	добра
0,45	0,29	0,00	придатна	0,719	низька	281	добра
0,51	0,34	0,00	придатна	0,845	низька	307	добра
0,20	0,12	0,00	придатна	0,321	низька	281	добра
0,30	0,22	0,00	придатна	0,581	низька	329	добра
0,28	0,20	0,00	придатна	0,534	низька	308	добра
0,33	0,25	0,00	придатна	0,627	низька	303	добра
0,25	0,17	0,00	придатна	0,426	низька	269	добра
0,37	0,24	0,00	придатна	0,591	низька	266	добра
0,30	0,19	0,00	придатна	0,474	низька	272	добра

Кінець табл. 5.5

0,20	0,13	0,00	придатна	0,368	низька	311	добра
0,22	0,15	0,00	придатна	0,405	низька	294	добра
0,18	0,13	0,00	придатна	0,347	низька	307	добра
0,21	0,14	0,00	придатна	0,390	низька	315	добра
0,49	0,33	0,00	придатна	0,835	низька	315	добра
0,39	0,24	0,00	придатна	0,631	низька	307	добра
0,34	0,24	0,00	придатна	0,680	низька	379	добра
0,30	0,22	0,00	придатна	0,582	низька	325	добра
0,24	0,17	0,00	придатна	0,457	низька	320	добра
0,33	0,23	0,00	придатна	0,606	низька	308	добра
0,24	0,17	0,00	придатна	0,441	низька	297	добра
0,14	0,10	0,00	придатна	0,270	низька	301	добра
0,35	0,27	0,00	придатна	0,742	низька	378	добра
0,29	0,21	0,00	придатна	0,568	низька	341	добра
0,24	0,17	0,00	придатна	0,458	низька	318	добра
0,39	0,26	0,00	придатна	0,667	низька	307	добра
0,39	0,23	0,00	придатна	0,599	низька	291	добра
0,49	0,32	0,00	придатна	0,814	низька	311	добра
0,31	0,23	0,00	придатна	0,655	низька	370	добра
0,31	0,22	0,00	придатна	0,597	низька	339	добра
0,29	0,20	0,00	придатна	0,526	низька	318	добра
0,40	0,27	0,00	придатна	0,705	низька	317	добра
0,31	0,22	0,00	придатна	0,552	низька	279	добра
0,17	0,10	0,00	придатна	0,270	низька	320	добра
0,36	0,26	0,00	придатна	0,747	низька	381	добра
0,24	0,18	0,00	придатна	0,502	низька	349	добра
0,32	0,22	0,00	придатна	0,594	низька	320	добра
0,40	0,27	0,00	придатна	0,682	низька	304	добра
0,38	0,24	0,00	придатна	0,585	низька	268	добра
0,27	0,18	0,00	придатна	0,458	низька	278	добра

Таблиця 5.6—Результати аналізу мінливості іригаційних властивостей вод р. Дунай(м.Вилкове) (теплий період)

Значення	$M_0$	$HCO_3^-$	$SO_4^{2-}$	$Cl^-$	$Ca^{2+}$	$Mg^{2+}$	$Na^+ + K^+$	$C_{токс}$
сер., мг/дм <sup>3</sup>	311	167	35,0	26,7	48,4	13,2	16,6	87,6
мін, мг/дм <sup>3</sup>	256	130	26,5	17,6	35,7	9,7	6,9	61,6
макс, мг/дм <sup>3</sup>	427	228	53,3	38,7	62,9	21,8	26,9	127

Значення	$Ca(HCO_3)_2$	$Mg(HCO_3)_2$	$Na_2SO_4$	$MgSO_4$	$NaCl$	$MgCl_2$
сер., мг/дм <sup>3</sup>	196	24,0	8,3	41,0	39,5	6,1
макс, мг/дм <sup>3</sup>	254	60,0	24,9	63,5	60,7	21,5
$p\%$	100	100,0	39,1	100	100	60,9

Значення	Клас						Група						Тип
	сульфатно	17	хлоридно	18	карбонатні	65	натрієво	17	магнієво	26	кальцієві	57	
сер.													3
$p\%$	карбонатні - 100						кальцієві - 100						2а - 39,1
	сульфатні - 0,0						магнієві - 0,0						3а - 60,9
	хлоридні - 0,0						натрієві - 0,0						

Значення	Костяков А.М.		Безднина С.Я.		Можейко А.М. Воротник Т.К.		Антипов-Каратаєв И.Н. Кадер Г.М.			Буданов А.М.			
	$M_0$	Оцінка	$Na^+$ , %	Оцінка	$K^+$	Оцінка	$0,23M_0$	$PKO$	Оцінка	$K_1$	$K_2$	$K_3$	Оцінка
сер.	312	добра	17	I	29,2	сприятлива	0,07	2,43	придатна	0,30	0,21	0,00	придатна
$p\%$	добра - 98,9 обережн. підх. - 1,1		I - 100		сприятлива - 100		придатна - 100			придатна - 100			

Значення	Класифікація США		Стеблер Х.		Департамент с/х США		Сабольч І. і Дараб К.		Келлі і Лібіх		
	$M_0$	Солоність	$K_H$	Оцінка	SAR	Небезпека осолонцювання	$K_{Mg}$	Вплив на грунти	$K_{Na}$	$K_{Mg}$	Можливість використання
сер.	312	середня	76,3	добрі	0,55	низька	31	не шкідливе	0,21	0,31	можливо
$p\%$	середня - 100		добрі - 100		низька - 100		не шкідливе - 100		можливо - 100		

Таблиця 5.7– Результати аналізу мінливості іригаційних властивостей вод р. Дунай(м.Ізмаїл) (теплий період)

Значення	$M_0$	$HCO_3^-$	$SO_4^{2-}$	$Cl^-$	$Ca^{2+}$	$Mg^{2+}$	$Na^+$	$K^+$	$C_{токс}$
сер., мг/дм <sup>3</sup>	335	179	39,3	29,4	53,5	13,9	17,8	0,0	96,9
мін, мг/дм <sup>3</sup>	257	131	29,9	21,5	36,1	9,5	7,7	0,0	73,7
мах, мг/дм <sup>3</sup>	444	233	53,1	44,2	70,5	18,9	30,1	0,0	136

Значення	$CO_3^{2-}$	$Na_2CO_3$	$MgCO_3$	$CaCO_3$	$Ca(HCO_3)_2$	$NaHCO_3$	$Mg(HCO_3)_2$	$CaSO_4$	$Na_2SO_4$	$MgSO_4$	$CaCl_2$	$NaCl$	$MgCl_2$
сер., мг/дм <sup>3</sup>	0,0	0,0	0,0	0,0	216	0,0	20,7	5,4	7,1	47,1	0,0	43,2	6,3
мах, мг/дм <sup>3</sup>	0,0	0,0	0,0	0,0	285	0,0	47,9	10,6	34	63,2	0,0	72,4	15,9
p%	0,0	0,0	0,0	0,0	100	0,0	96,3	3,7	33,3	100	0,0	100	66,7

Значення	Клас						Група						Тип
	сульфатно	18	хлоридно	18	карбонатні	64	натрієво	17	магнієво	25	кальцієві	58	
сер.													3
p%	карбонатні - 100 сульфатні - 0,0 хлоридні - 0,0						кальцієві - 100 магнієві - 0,0 натрієві - 0,0						1 - 0,0 2 - 33,3 3 - 66,7

Значення	Костяков А.М.		Безднина С.Я.		Можейко А.М. Воротник Т.К.		Антипов-Каратаєв І.Н. Кадер Г.М.			Буданов А.М.			
	$M_0$	Оцінка	$Na^+$ , %	Оцінка	$K$	Оцінка	$0,23M_0$	$PKO$	Оцінка	$K_1$	$K_2$	$K_3$	Оцінка
сер.	335	добра	17	I	28,8	сприятлива	0,08	2,47	придатна	0,29	0,20	0,00	придатна
p%	добра - 92,6 обережн. підх. - 7,4		I - 100		сприятлива - 100		придатна - 100			придатна - 100			

Значення	Класифікація США		Стеблер Х.		Департамент с/х США		Сабольч І. і Дараб К.		Келлі і Лібіх		
	$M_0$	Солоність	$K_H$	Оцінка	SAR	Небезпека осолонцювання	$K_{Mg}$	Вплив на грунти	$K_{Na}$	$K_{Mg}$	Можливість використання
сер.	335	середня	69,5	добрі	0,56	низька	30	не шкідливе	0,20	0,30	можливо
p%	середня - 100,0		добрі - 100		низька - 100		не шкідливе - 100		можливо - 100		

## БОЦІНКА ІРИГАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВОД КІЛІЙСЬКОГО ГИРЛА РІЧКИ ДУНАЙ

Виконаємо аналіз іригаційних властивостей вод використовуючи результати спостережень у створі р. Дунай-м. Ізмаїл і р. Дунай-м. Вилкове з 2001 по 2017 рр. за теплі періоди.

Протягом теплового періоду властивості вод можуть суттєво змінюватися, тому за кожен термін спостережень класифікуємо стан вод Дунаю за різними методиками та підрахуємо частоту появи різних класів і типів: засолення за Костяковим А.Н. [8]; осолонцювання ґрунту за Стеблером [7], Антиповим-Каратаєвим І.Н. та Кадером Г.М. [7, 9, 11], Собольч І. та Дарабом К. [10, 11, 17]; підтипів вод [2] з різним вмістом гіпотетичних солей.

Мінералізація вод р. Дунай-Ізмаїл коливається в діапазоні 257-444 мг/дм<sup>3</sup>, середнє значення 335 мг/дм<sup>3</sup>. За Костяковим А.Н. протягом теплового періоду (ТП) з ймовірністю 92,6% відноситься до 1 класу – «добра» для поливу вода і до класу II – «обережний підхід при поливі» 7,4%.

Співвідношення іонів:

Стеблер – 1 клас «добрі» 100%;

Антипов-Каратаєв І.Н. та Кадер Г.М. – за вмістом натрію «придатні» для поливу 100%;

Води Дунаю в районі Ізмаїлу відносяться до карбонатно-кальцієвих вод (100%), підтипів IIa (33,3%) і IIIa (66,7%).

Підтип вод IIIa у порівнянні з IIa більш сприятливий, тому що при випаровування вод цього підтипу замість сульфату натрію ( $Na_2SO_4$ ) в ґрунт може вступити менше токсичний хлорид магнію ( $MgCl_2$ ).

Загалом концентрація токсичних іонів змінюється в діапазоні від 257 до 444 мг/дм<sup>3</sup> при середньому значенні 335 мг/дм<sup>3</sup>.

Мінералізація вод р. Дунай-м. Вилкове коливається в діапазоні 260-430 мг/дм<sup>3</sup>, середнє значення 312 мг/дм<sup>3</sup> (рис. 6.1) і практично 100% часу теплового періоду відноситься до 1 класу – «добра» для поливу вода (за

Костяковим А.Н.).



Рис. 6.1 – Хронологічна мінливість мінералізації вод р. Дунай-м. Вилкове за теплі періоди 2001-2017 років

Співвідношення іонів:

Стеблер– 1 клас «добрі» 100%;

Антипов-Каратаєв І.Н. та Кадер Г.М. – за вмістом натрію «придатні» для поливу 100%;

Води Дунаю в районі Вилкове відносяться до карбонатно-кальцієвих вод (100%), підтипів IIa (39%) і IIIa (61%).

Підтипи вод IIa і IIIa відрізняються набором гіпотетичних токсичних солей:

- води підтипу IIa сприяють утворенню в ґрунті солей  $NaCl$  (концентрація у воді в середньому  $40 \text{ мг/дм}^3$ );  $MgSO_4$  ( $41 \text{ мг/дм}^3$ ) і  $Na_2SO_4$  ( $8,3 \text{ мг/дм}^3$ );

- підтипу IIIa –  $NaCl$ ;  $MgSO_4$  і  $MgCl_2$  ( $6,1 \text{ мг/дм}^3$ ).

Усього концентрація токсичних іонів змінюється в діапазоні  $62\text{?}127 \text{ мг/дм}^3$  при середньому значенні  $88 \text{ мг/дм}^3$ .

Води р. Дністер-с. Маяки мають мінералізацію  $294\text{?}774 \text{ мг/дм}^3$ , середнє значення  $446 \text{ мг/дм}^3$ . Протягом теплого періоду 34% часу вони відносяться до 1 класу – «добра» для поливу вода і 66% до 2 класу – «потребує обережного підходу».

Води р. Дністер:

- за Стеблером відносяться до 1 класу – «добрі» 100%;
- за Соболюч І. та Дарабом К. за вмістом магнію «не шкідливі» 78% і «шкідливі» 22%;
- клас карбонатні 86% і сульфатні 14%; група кальцієві 78% і 22% магнієві;
- підтип Па 64% і Пб 36%, на відміну від Па води підтипу Пб замість  $Mg(HCO_3)_2$  містять другу нетоксичну солі  $CaSO_4$  і тим самим сприяють утворенню у ґрунті гіпсу, який є меліорантом солонцюватих ґрунтів;
- полив водами Дністра у 22% теплого періоду може сприяти магнієвому осолонцюванню і у 78% - вміст магнію не шкідливий;
- концентрація токсичних іонів змінюється в діапазоні: 88-459 мг/дм<sup>3</sup> при середньому значенні 188 мг/дм<sup>3</sup>.

Води Дністра потребують обережний підхід.

Можна зробити висновок, що води Дунаю за мінералізацією і за співвідношенням головних іонів у цілому можна вважати еталоном іригаційних вод. Протягом усього теплого періоду вони підходять для поливу усіх типів ґрунтів.

## ВИСНОВКИ

За результатами виконаної роботи можна зробити наступні висновки.

1. Іригаційні властивості вод Кілійського гирла Дунаю по всій його довжині можна вважати стабільними.
2. Мінералізація вод Кілійського гирла Дунаю коливається в діапазоні 260-430 мг/дм<sup>3</sup>, середнє значення 312 мг/дм<sup>3</sup>.
3. За класифікацією Костякова А.Н. протягом усього теплоперіоду часу води відноситься до 1 класу – «добра» для поливу вода.
4. За співвідношенням головних іонів води гирла відносяться до карбонатно-кальцієвих (100% ТП), підтипів Па (39%) і Ша (61%).
5. Спільним для вод Па і Ша є здатність утворення в ґрунті солей  $NaCl$  і  $MgSO_4$ . Відмінність полягає у тому, що підтип Па також утворює  $Na_2SO_4$ , а підтип Ша –  $MgCl_2$ . Обидва підтипи містять  $Mg(HCO_3)_2$  – нетоксичну сіль, що сприяє лужної реакції ґрунту.
6. Концентрація токсичних іонів змінюється в діапазоні 62-127 мг/дм<sup>3</sup> при середньому значенні 88 мг/дм<sup>3</sup>.
7. Води Дунаю протягом усього теплоперіоду підходять для поливу усіх типів ґрунтів.
8. Води р. Дністер-с. Маяки мають мінералізацію 294-774 мг/дм<sup>3</sup>, середнє значення 446 мг/дм<sup>3</sup>, що в середньому в 1,4 рази вище мінералізації вод Дунаю.
9. Протягом теплоперіоду 34% часу вони відносяться до 1 класу – «добра» для поливу вода і 66% до 2 класу – «потребує обережного підходу».
10. За співвідношенням головних іонів води Дністра відносяться до класів карбонатних (86%) і сульфатних (14%) вод; груп кальцію (78%) і магнію (22%); підтипів Па (64%) і Пб (36%).
11. Підтип Пб на відміну від підтипу Па замість  $Mg(HCO_3)_2$  містить другу нетоксичну сіль  $CaSO_4$  і тим самим сприяють утворенню у ґрунті гіпсу, який є меліорантом солонцюватих ґрунтів.



12. Полив водами Дністра у 22% теплого періоду може шкідливим за вмістом магнію і у 78% - полив не шкідливий. Води Дністра потребують обережний підхід.

13. Води Дунаю за мінералізацією і за співвідношенням головних іонів у цілому можна вважати еталонними іригаційних вод півдня Одеської області.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Яновский А. (1893). Дунай. Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона (82 т. и 4 доп). С. 232-237.
2. Лазовіцькій П. С. (2013). Гідрологічний режим та оцінювання якості вод озера-водосховища Сасик у часі. *Часопис картографії: Збірник наукових праць* / Інститут водних проблем і меліорації. Київ : КНУ ім. Тараса Шевченка. С. 146-169.
3. Кулибабин А. Г., Незвинский А. Ф., Кичук И. Д. (1997). Эколого-экономические аспекты орошения и рационального природопользования в зоне Дунай-Днестровской оросительной системы Одесской области / Одесса. УЭАН Украины, Черноморское отделение.
4. Васенко О. Г. (2004). Розробка соціально-економічного та екологічного обґрунтування відновлення гідрологічного режиму озера Сасик. Звіт про НДР (заключний). ДР 11/1180/19/2 / наук. керів. О. Г. Васенко; Український науково-дослідний інститут екологічних проблем (УкрНДІЕП). Харків.
5. Тимченко В. М., Іванова Н. О. (2012). Еколого-гідрологічний погляд на проблеми лиману Сасик. *Лимани північно-західного Причорномор'я: актуальні гідроекологічні проблеми та шляхи їх вирішення*: матеріали Всеукр. наук.-практ. конф., 12-14 вересня 2012 р. Одеса. С. 147-150.
6. Іванова Н. О. (2010). Цвітіння води в Сасикському водосховищі. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. Т. 2(19). С. 185-191.
7. Слюсарев В. Н., Терпелец В. И., Швец Т. В. (2014). Методические указания по проведению практических занятий по дисциплине «Мелиоративное почвоведение». Краснодар: КубГАУ. 26 с.
8. Костяков А. Н. (1960). Основы мелиораций. Москва : Государственное изво сельскохозяйственной литературы. 189 с.
9. Заносова В. И., Молчанова Т. Я. (2017) Оценка качества подземных вод и степени их пригодности для орошения. *Вестник Алтайского*

- государственного аграрного университета. № 6 (152). С. 49-53.*
10. Зайдельман Ф. Р. (2003). Мелиорация почв: учебник – 3-е изд. испр. и доп. Москва : Изд-во МГУ им. М.В.Ломоносова. 448 с.
  11. Аринушкина Е. В. (1970). Руководство по химическому анализу почв. Издание 2-е, переработанное и дополненное. Москва : Изд-во МГУ. 487 с.
  12. Зайдельман Ф. Р., Смирнова Л. Ф., Шваров А. П. и др. (2007). Практикум по курсу «Мелиорация почв» / Зайдельман Ф. Р., Смирнова Л. Ф., Шваров А. П., Никифорова А. С. Москва : изд-во МГУ им. М.В. Ломоносова. 66 с.
  13. Астапов С. В. (1958). Мелиоративное почвоведение (практикум). Издание второе, переработанное и дополненное. Москва : Гос. издат. сельхоз.лит. 368 с.
  14. Максимов В.М. (1979). Справочное руководство гидрогеолога. 3-е изд. перераб. и доп. Том. 1 / под ред. проф. В.М. Максимова. Ленинград: Недра. 512 с.
  15. Алёкин О. А. (1970). Основы гидрохимии. Ленинград:Гидрометеиздат. 446 с.
  16. Безднина С. Я. (2013) Научные основы оценки качества воды для орошения. Рязань: Изд. РГАТУ. 171 с.
  17. Атдаев С., Акмамедов Б. (2012). Качество воды главного коллектора туркменского озера «Алтын Асыр». *Международный научно-практический журнал. № 3-4. С. 18-19.*
  18. Юрасов С.М., Кузьмина В.А. (2019) Иригаційна оцінка якості вод Сасику. *Український гідрометеорологічний журнал. № 224. с.112-121*
  19. Якість вод для зрошення. Екологічні критерії. ВНД 33-5.5-02-97. – Харків: Державний комітет України по водному господарству, 1998. – 15 с.

## ДОДАТКИ

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ КРМ

1. Студёнова Е.С., кер. Юрасов С.Н. Ирригационные свойства вод Одесской области / Научно-практический журнал «Екологічні науки» № 5(32). С. 159-163. DOI:<https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.5-32.23>
2. Студьонова К.С., Юрасов С.М. Якість вод Кілійського гирла в районі м. Ізмаїл / V Міжнародна науково-практична конференція студентів, магістрантів та аспірантів «Галузеві проблеми екологічної безпеки», 25 жовтня 2019 року. Харків: ХНАДУ, 2019. с. 233-235.
3. Студьонова К.С., Юрасов С.М. Детальна типізація іригаційних вод. Міжнародная научно-практическая конференция 28-29 декабря 2019. Львів.
4. Студьонова К.С., кер. Юрасов С.М. Іригаційні властивості вод річки Дунай / Abstrakt of VIII International Scientific and Practical Conference «SCIENCE, SOCIETY, EDUCATION: TOPICAL ISSUES AND DEVELOPMENT PROSPECTS». 7-9 June 2020. Kharkiv, Ukraine. С.50-54.
5. Студьонова К.С., кер. Юрасов С.М. Аналіз іригаційних властивостей річки Дунай / Регіональні проблеми охорони довкілля. Матеріали Міжнародної наукової конференції молодих вчених, 1-3 червня 2020 року. Одеса: ОДЕКУ, 2020. С. 158-161.
6. Студьонова К.С., кер. Юрасов С.М. Зіставлення іригаційних властивостей вод річок Дунай і Дністер / Матеріали ХІХ наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ, 25-29 травня 2020. Одеса: ОДЕКУ, 2020. С. 149.
7. Студёнова Е.С., кер. Юрасов С.Н. Типизация ирригационных вод юга Украины. *Международная научно-практическая конференция. 27-29 сентября 2020. Киев*
8. Студёнова Е.С., кер. Юрасов С.Н. Детальная типизация ирригационных свойств вод Одесской области. *Международная научно-*

*Практическая конференция. 22-24 ноября 2020. Киев*

9. Студёнова Е.С., рук. Юрасов С.Н. Детальная типизация ирригационных свойств вод Одесской области. XXIII Міжнародна науково-практична конференція «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: Освіта – Наука – Виробництво – 2020. 17-18 грудня 2020 Харків. С. 80-82

Довідка

кафедри екології та охорони довкілля про участь студентки Студьонової Катерина Сергіївни в кафедральній науково-дослідних роботах:

Тема НДР: «Стан водних об'єктів Одеської області в умовах антропогенного навантаження» (2019р.)

«Затверджую»

Зав. кафедрою \_\_\_\_\_ проф. Сафранов Т.А.