МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-науковий
гідрометеорологічний інститут
Кафедра гідрології суші

Кваліфікаційна робота магістра

на тему: **Водний і сольовий баланси озера Катлабух в сучасних умовах водообміну з р.Дунай**

Виконала студентка групи МЗГ-20
спеціальності 103 Науки про Землю
Станко Мадіна Ісанівна

Керівник д-р геогр. наук, професор
Шакірзанова Жаннетта Рашидівна

Консультант _____

Рецензент д-р геогр. наук, професор
Хохлов Валерій Миколайович

Одеса 2021

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ

ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет _____Навчально-науковий гідрометеорологічний інститут____
Кафедра _____Гідрології суші_____
Рівень вищої освіти магістр_____
Спеціальність _____103 Науки про Землю _____
(шифр і назва)
Освітня програма ___Гідрологія і комплексне використання водних ресурсів__
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри гідрології суші
Д-р геогр. наук, проф. Шакірзанова Ж.Р.____ _____
“ 28_” _жовтня__ 2021 року

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

студенту _____Станко Мадіні Ісанівні_____
(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема роботи __ Водний і сольовий баланси озера Катлабух в сучасних умовах водообміну з р.Дунай_____
керівник роботи __Шакірзанова Жаннетта Рашидівна, д-р геогр. наук, професор_____,
(прізвище, ім’я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ОДЕКУ “_18__”_жовтня___2021 року №216 «С»__
2. Строк подання студентом роботи__08.12.2021 р._____
3. Вихідні дані до роботи: гідрометеорологічні дані за 2019, 2020 рр. - суми місячного випаровування з водної поверхні на м/ст. Болград, суми місячних опадів на м/ст. Болград та м/ст. Ізмаїл, щоденні рівні води в озері Катлабух, мінералізація води в озері і склад окремих гідрохімічних складових._____
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Вивченість та фізико-географічна характеристика басейну озера Катлабух. 2. Характеристика та господарське використання озера Катлабух. 3.Гідрологічний режим озера Катлабух, гідрологічній режим річки Дунай, характеристика рівневого режиму річок, що живлять озеро Катабух. 4. Структура рівнянь водного і сольового балансів озера Катлабух та визначення їх складових у 2019 та 2020 рр. 5. Використання автоматизованого програмного комплексу для розрахунку складових водного і сольового режимів озера Катлабух._____
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень)
Карто-схеми: географічного положення української частини р.Дунай, системи Придунайських озер, розташування гідрологічних постів. Графіки: хронологічні графіки сум опадів випаровування, рівнів води та мінералізації; мінливість об’ємів річних сум опадів, об’ємів природного річного стоку, бічного припливу, дренажних вод, випаровування, транспірації, заборів води, води, що надходить з річки Дунай, води, що скидаються до р. Дунай; Графік нев’язок річних водних балансів; складові приходної та витратної частини водного і сольового балансів; багаторічна мінливість складових приходної та витратної частини водних і сольових балансів.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання___28.10.2021 р._____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	Вступ. Вивченість та фізико-географічна характеристика басейну озера Катлабух	28.10-04.11.2021	**92**	**відм.**
2	Характеристика та господарське використання озера Катлабух	05.11-11.11.2021	**94**	**відм.**
3	Гідрологічний режим озера Катлабух, гідрологічній режим річки Дунай, характеристика рівневого режиму річок, що живлять озеро Катабух	12.11-18.11.2021	**96**	**відм.**
4	Структура рівнянь водного і сольового балансів озера Катлабух	19.11-23.11.2021	**96**	**відм.**
	Рубіжна атестація	**23.11 - 27.11.2021**		
5	Розрахунки водних і сольових балансів озера Катлабух у 2019 та 2020 рр.	27.11-02.12.2021	**94**	**відм.**
6	Використання автоматизованого програмного комплексу для розрахунку складових водного і сольового режимів озера Катлабух	03.12-05.12.2021	**92**	**відм.**
7	Висновки та оформлення роботи	06.12-08.12.2021	**95**	**відм.**
	Перевірка на плагіат, підписання авторського договору	09.12-10.12.2021		
	Підготовка доповіді, презентації	10.12-22.12.2021		
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		**94**	**відм.**

Студент _____ _____Станко М. І._____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ __Шакірзанова Ж.Р._____
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Магістерська кваліфікаційна робота студентки гр. МЗГ-20 Станко Мадіни Ісанівни за темою: «Водний і сольовий баланси озера Катлабух в сучасних умовах водообміну з р.Дунай»

Актуальність теми. В останні десятиріччя через зменшення масштабів зрошування земель скоротились забори води з озера Катлабух, майже припинились підкачки води з р. Дунай, що погіршило якість води у водоймі. В останні роки мінералізація в озері Катлабух дорівнює 3,0-4,5 г/дм^3 і більше, що у 3-4,5 рази вище за допустимі норми води для зрошування та питної води. Такі обставини викликали необхідність водного і сольового режимів озера.

Мета і задачі дослідження. Розрахувати складові водного та сольового балансів озера та вирішити рівняння водно-сольового балансу в умовах його господарського використання (2019-2020 рр.).

Об'єкт і предмет дослідження – водний та сольовий режими озера Катлабух, водообмін з р.Дунай.

Методи дослідження. Метод водного та сольового балансів. Визначення нев'язок рівняння водного балансу та оцінка розрахунків сольових балансів.

Результати, їх новизна, теоретичне та практичне значення: використана методика розрахунку водних і сольових балансів, яка у вигляді програмного комплексу *«CatlabuhApp»* реалізована автором (у 2019 і 2020 роках) для автоматизації розрахунків водного та сольового балансів озера Катлабух (з часовим шагом один місяць та при визначенні складових балансових рівнянь).

Рекомендації щодо використання результатів роботи з зазначенням галузі застосування: підрозділи Держводгоспу у Придунайському регіоні України, напрямок дослідження автора відповідає науково-дослідній тематиці кафедри гідрології суші Одеського державного екологічного університету.

Структура і обсяг роботи:
Кількість сторінок – 110
Кількість рисунків – 52
Кількість таблиць – 25
Кількість літературних джерел – 44

Ключові слова: озеро Катлабух, водний баланс, сольовий баланс, водообмін з р.Дунай, програмний комплекс.

SUMMARY

Master's qualification work of a student gr. MZG-20 Stanko Madina Isanivna on the topic: "Water and salt balances of Katlabukh Lake in modern conditions of water exchange with the Danube River".

Actuality of theme. In recent decades, due to the reduction of land irrigation, water abstractions from Katlabukh Lake have been reduced, and water pumping from the Danube River has almost stopped, which has worsened the quality of water in the reservoir. In recent years, the mineralization in Katlabukh Lake is 3.0-4.5 g / dm^3 and more, which is 3-4.5 times higher than the permissible norms of water for irrigation and drinking water. Such circumstances necessitated the water and salt regimes of the lake.

The purpose and objectives of the study. Calculate the components of water and salt balances of the lake and solve the equation of water-salt balance in terms of its economic use (2019-2020).

Object and subject of research - water and salt regimes of Katlabukh Lake, water exchange with the Danube River.

Research methods. Method of water and salt balances. Determining the discrepancies in the water balance equation and estimating salt balance calculations.

Results, their novelty, theoretical and practical significance: used the method of calculating water and salt balances, which in the form of software "CatlabuhApp" implemented by the author (in 2019 and 2020) to automate calculations of water and salt balances of Katlabuh Lake (with a time step of one month and in determining the components of balance equations).

Recommendations for the use of the results of work with the indication of the field of application: divisions of the State Water Management in the Danube region of Ukraine, the direction of the author's research corresponds to the research topics of the Department of Land Hydrology of Odessa State Ecological University.

Structure and scope of work:

Number of pages - 110

Number of drawings - 52

Number of tables - 25

Number of literary sources – 44

Key words: Katlabukh Lake, water balance, salt balance, water exchange with the Danube River, software complex.

Зміст

Стор.

Вступ……. 8

1 Вивченість та фізико-географічна характеристика басейну озера Катлабух…… 10

1.1 Історія походження і вивченість досліджуваної території…… 10

1.2 Фізико-географічна характеристика території…….. 13

1.2.1 Геологія та рельєф ……. 13

1.2.2 Ґрунтовий та рослинний покрив…….. 15

1.2.3 Клімат……..... 16

1.3 Характеристика озера……. 18

1.3.1 Основні морфометричні характеристики озера Катлабух .. 20

1.3.2 Гідрографічна мережа в басейні озера Катлабух …….. 20

1.3.3 Гідрологічний режим озера Катлабух …….. 24

1.3.4 Гідрологічній режим річки Дунай…… 29

1.3.5 Характеристика рівневого режиму річок, що живлять озеро Катабух…….. 31

1.4 Господарське використання озера Катлабух…….. 32

1.4.1 Сільськогосподарське використання…….. 32

1.4.2 Рибне господарство…….. 32

1.4.3 Рекреація та туризм…… 33

2 Водний і сольовий баланси озера Катлабух…….. 36

2.1 Структура водного балансу озера……. 36

2.2 Організація та проведення спостережень за елементами водного балансу озера…….. 36

2.3 Рівняння водного балансу озера Катлабух…… 39

2.4 Структура рівняння сольового балансу…….. 41

2.5 Рівняння сольового балансу озера Катлабух…….. 43

2.6 Водні та сольові баланси, які представляються в зарубіжній літературі…… 44

3 Водний баланс озера Катлабух……..…… 47
3.1 Визначення приходної частини водних балансів озера…….. 47
3.1.1 Атмосферні опади……. 47
3.1.2 Річний стік при відсутності спостережень…… 51
3.1.3 Бічний приплив поверхневих вод до озера…….. 55
3.1.4 Приплив ґрунтових вод……. 57
3.1.5 Дренажні і комунально-побутові води…… 59
3.2 Визначення витратної тини водних балансів……..… 60
3.2.1 Випаровування з водної поверхні озера……. 60
3.2.2 Транспірація водною рослинністю ……... 62
3.2.3 Сумарний забір з озера Катлабух……. 63
3.2.4 Фільтрація води в береги……. 64
3.4 Оцінка нев’язок водних балансів…… 68
3.5 Узагальнена оцінка складових у рівняннях водних балансів…… 70
4 Сольовий баланс озера Катлабух…….. 72
4.1 Мінералізація води окремих складових рівняння сольового балансу…….. 73
4.2 Результати розрахунків сольових балансів озера Катлабух…….. 75
5 Автоматизований програмний комплекс для розрахунку складових водного і сольового режимів озера Катлабух……. 83
5.1 Посібник користувача програмного комплексу «*CatlabuhApp*»…… 85
5.2 Збір вихідної гідрометеорологічної інформації і формування бази даних у програмному комплексі……... 93
5.3 Основні етапи розрахунків водного та сольового балансів озера Катлабух…….. 96
Висновки……. 103
Список використаних джерел……... 106

ВСТУП

Актуальність теми. Озеро Катлабух є одним з найбільших придунайських заплавних озер, яке розташоване в Одеській області. Головним джерелом водообміну та водооновлення цього озера є р. Дунай.

У перший період функціонування придунайських озер, як зарегульованих водоймищ, якість води в них підтримувалася на задовільному рівні. Водооновлення відбувалося за рахунок забору значних об’ємів води на зрошування та підтримки рівнів за допомогою підкачки маломінералізованих дунайських вод.

В останні десятиріччя через скорочення масштабів зрошування земель забори води з водосховища Катлабух значно зменшились, а підкачки води з р.Дунай майже припинились. Це призвело до погіршення якості води. Зокрема, мінералізація в оз. Катлабух в останні роки сягає 3,0-4,5 г/дм^3, що у рази перевищує допустимі норми для питної та зрошувальної води. Такі обставини викликали необхідність дослідження водного і сольового режимів озера в сучасних умовах господарського використання його водних ресурсів та водообміну з р.Дунай.

Мета і задачі дослідження. При аналізі гідрологічного режиму озера Катлабух дослідити фізико – географічні, морфометричні, гідротехнічні характеристики озера, а також вивчити гідрологічний режим річок, які його живлять, р. Дунай, як основного джерела надходження прісних вод до озера, визначити складові водного та сольового балансів озера та вирішити рівняння водно-сольового балансу в сучасних умовах водообміну з р.Дунай та його господарського використання (2019-2020 рр.).

Об'єкт дослідження – озеро Катлабух і його басейн, малі річки, які безпосередньо впадають у нього, річка Дунай, що є головним джерелом водообміну та водооновлення водойми.

Предмет дослідження – гідрологічний режим та водно-сольовий баланс озера Катлабух.

Методи дослідження. Метод водного та сольового балансів. Визначення нев'язок рівняння водного балансу та оцінка розрахунків сольових балансів.

Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості використання програмного комплексу *«CatlabuhApp»* для автоматизації розрахунків водного та сольового балансів озера Катлабух (з часовим шагом один місяць та при визначенні складових балансових рівнянь) у підрозділах Держводгоспу у Придунайському регіоні України.

Напрямок дослідження автора відповідає науково-дослідній тематиці кафедри гідрології суші Одеського державного екологічного університету. Окремі положення роботи увійшли до наукового звіту «Регіональні наукові дослідження в області гідрологічних розрахунків і прогнозів водного режиму річок і водойм України» (№ ДР 0118U001221, 2018-2022 рр.), розділ 6, п. 6.1.1 «Гідрометеорологічна мережа спостережень та створення регіональної бази для розрахунків водного балансу водойм», (Проміжний звіт, III етап, 2020 р.), розділ 4, п. 4.2 «Розрахунок і аналіз складових сольового балансу озер» (Проміжний звіт, IV етап, 2021 р.) (Акт використання в навчальному процесі від 13 грудня 2021 р.).

Апробація роботи. Основні результати роботи доповідались автором на Міжнародній науковій конференції молодих вчених «*Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування»*, м. Харків (2020,2021 рр.), Другому всеукраїнському гідрометеорологічному з'їзді, м. Одеса, ОДЕКУ (2021 р.), науковій конференції молодих вчених Одеського державного екологічного університету (2021 р.).

За результатами I туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт зі спеціальності «Географія» у 2020 році автор роботи посіла III місце (науковий керівник Шакірзанова Ж.Р., д-р геогр. наук, проф.) і прийняла участь в II-му турі конкурсу. За результатами I туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт в галузі «Раціональне природокористування та екологічна безпека» у 2021 р. отримала диплом I ступеня за перше місце.

Оригінальність роботи за Unicheck становить в середньому – 89,8%.

1 ВИВЧЕННІСТЬ ТА ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА БАСЕЙНУ ОЗЕРА КАТЛАБУХ

1.1 Історія походження і вивченість досліджуваної території

Озеро Катлабух відноситься до західної групи Придунайських водойм, розташованих на лівому березі річки Дунай і є продовженням долин річок Великий і Малий Катлабух, Єніка, Ташбунар, які маловодні і влітку пересихають [1-4].

Озеро Катлабух розташоване в 10 км на північний схід від міста Ізмаїл. Має площу 68 км², середню ширину 2 км, максимальну 6 км. Береги обривисті з оголенням корінних порід, на півдні - заболочені і зливаються з плавнями [5].

Взаємне розташування української частини дельти річки Дунай з рукавами Придунайських озер і басейнів річок, що їх живлять ілюструє карта, представлена на рис. 1.1.

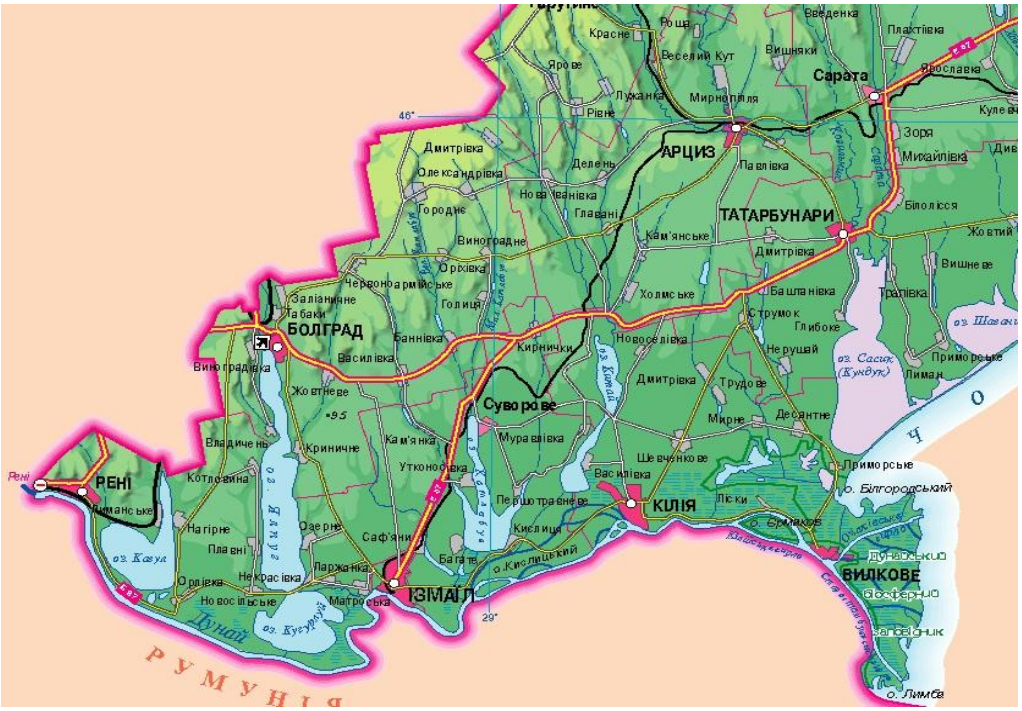


Рисунок 1.1 – Взаємне розташування української частини дельти річки Дунай з рукавами Придунайських озер і басейнів річок, що їх живлять [https://geomap.com.ua/uk-gr/505.html]

Історія походження озера Катлабух невіддільна від загальних процесів формування дельти Дунаю та групи всіх придунайських озер [6]. В.О. Клер в 1911 році мав таку думку про походження лиманів Ізмаїльського району - «Древний эстуарий Дуная громадный лиман, отделявшийся в конце третичной эпохи Килийским мысом от моря, имел заливы – нынешние лиманы Кагул, Ялпуг, Катлабух и Китай. При достаточном развитии подводной дельты эти лиманы отшнуровались косами».

Ці озера-лимани є однією з найважливіших відмінних особливістей української частини Дунаю, які протікають вздовж Буджакського плато. На лівобережжі налічувалося понад 40 озер до обвалування Кілійського рукава (1950-1970 рр.), а на сьогодні їх кількість значно зменшилася.

Спочатку Дунайські озера-лимани, в які входило озеро Катлабух представляли собою «екосистему з чистою водою». Озера з'єднувалися через численні протоки з Кілійським рукавом Дунаю. Кілійський рукав мав найбільший обсяг стоку: близько 60-70% від загального стоку річки Дунай. На ділянці Ізмаїл-Вилково Кілійський рукав двічі розгалужується, утворюючи Кислицький рукав.

Спостереження на гідрометричній мережі в районі озера Катлабух почалися в 40-50 роках минулого століття. Початок вимірювань рівнів води на р.Дунай в створі Кислиці - 1945 рік, на оз.Катлабух - 1962 рік. Спостереження за температурою води в р.Дунай і оз. Катлабух почалися в 1962 році. За гідрохімічними складу озера Катлабух ведуться спостереження з 1970 року. Узагальнені дані за спостереженнями в зоні озера Катлабух відображені в табл.1.1 [1,5].

В період спостереження (1949-1950 роки) озеро Катлабух складалося: з основної широкої (південній) частині, витягнутої верхньої (північної) частини (вершина) і двох заток - Гассан і Ташбунар, розташовані симетрично з боків. Озеро відноситься за своїм походженням до заплавних.

Таблиця 1.1 - Гідрометрична мережа в зоні озера Катлабух

Водний об’єкт	Назва водпоста	Період дії		Початок вимірювань			
		Відкритий	Закритий	Рівні води	Темп-ра води	Льодові явища	Гідрохімія
Озеро Катлабух	с.Кислиці (ГНС Кірова) -6,29 мБс	I/IV 1962	Діє	1962	1962	1952	1970
Озеро Катлабух	НС-2 Суворовської ЗС	-	-	-	-	-	1970
р. Дунай	с. Кислиці -0,47 мБс	I/III 1945	Діє	1945	1962	1945	-

До обвалування під час паводку Дунай щорічно протягом 120 днів затоплював весь простір між річкою і озером, що значно впливало на формування ландшафту та біорізноманіття ветландов і озера. Зараз заплава озера з боку Кислицького рукава перетворена в одамбована польдери, які використовуються для промислового риборозведення. Обсяг води, який раніше накопичувався в ветланді і фільтрувався через очеретяні зарості в межах заплави Дунаю, значно знизився і водообмін тут відбувається практично тільки при заповненні озера і при його скиданні через гідроспоруди.

В сучасних умовах озеро Катлабух з'єднується з Кислицьким рукавом через систему природних проток, які в даний час перетворені в канали «Желявскій» і «Громадський», обладнані шлюзами-регуляторами.

Залежно від рівня води в Дунаї і в озері (а в даний час і від режиму експлуатації) напрямок стоку по протоках змінюється протягом року: при заповненні - в напрямку озера, під час спорожнення - в напрямку річки.

Планомірні і постійні спостереження за рівень режимом озера, якістю його води, станом берегової лінії проводиться з 50-х років минулого століття. З розвитком зрошення сільгоспугідь і використанням водних ресурсів озера для сельхозводоснабженія, риборозведення розпочато планомірне проведення моніторингових спостережень за якістю води.

Після 70-х років минулого століття почалося регулювання рівневого і водного режиму озера, що дало можливість накопичувати значні обсяги прісної води на протязі року. У цей період почалося зариблення озера, що призвело згодом до зміни видового складу риб.

Багаторічне спостереження за якістю води в озері свідчить про погіршення якості води, причиною якого є порушення процесів природного водообміну озера, сольового режиму і накопичення забруднень, які надходять в озеро зі стоком малих річок з басейну озера.

1.2 Фізико-географічна характеристика території

За фізико-географічним районуванням розглядувана територія Придунав'я знаходиться в степовій зоні з ухилом на південь [1,7-10]. Висоти змінюються з півночі і північного заходу від 300 м до 0,0 і - 2,0 м - в заплаві р.Дунай.

1.2.1 Геологія та рельєф

Геологічна історія будови дельти Дунаю та озера Катлабух дозволяють позначити тимчасові періоди формування будови ґрунтів і ландшафтів території озера, і пояснити існуючі процеси і замулення озера. У минулому численні тимчасові і постійні водотоки: річки Великий і Малий Катлабух, Єніка, Ташбунар безперешкодно несли свої потоки в русло Дунаю. У четвертинний час відбувається інтенсивне занурення суші і затоплення прибережної низовини, низовий долин річок, і на місці останніх утворилися

озеро Катлабух. Геологічною історією дельти Дунаю пояснюється також і велика ширина заплави Дунаю між Кислицьким рукавом і озером.

Геологічна будова території озера неоднорідна, як в плановому положенні, так і по глибині [1,7].

Під впливом водної ерозії високі лесові берега піддавалися руйнуванню і формувалися характерні обриви. Широка водна гладь сприяла осадження річкових насосів і перетворенню гирлових зон впадають річок в болотисті плавні. Ложе озера складено до глибини 20-22 м мулами. Геологічна будова території озера і наявність потужного 30 м водоупора, який представлений різними видами глин, визначає наявність ґрунтових вод, і артезіанських вод. Глибина залягання і хімічний склад вод знаходяться в тісному зв'язку з природною обстановкою і антропогенним навантаженням на території. Хімічний склад ґрунтових вод досить строкатий. Мінералізація змінюється в межах від 1 до 15 дм³. За останні 15-20 років внаслідок інтенсивного зрошення водонасиченому збільшилася і рівень грунтових вод підвищився. Грунтові води розвантажуються в долинах річок і відповідно впливають на формування води в озері Катлабух. Прогнозні запаси підземних вод в районі озера Катлабух на території Ізмаїльського району складають 45,2 млн.м³/рік. Мінералізація підземних вод становить 1,5 дм³, що дозволяє ЇЇ використовувати для цілей водопостачання. Однак через досить глибокого залягання підземні води не знайшли широкого застосування.

У рельєфі території басейну водосховищ Катлабух виділяється Придунайська терасовою рівнина, яка має ширину від 3 до 5 км в районі м. Ізмаїл та від 10 до 15 км - в районі м. Кілія.

Верхнепліаціновие алювіальні відкладення терас розвинені в південній частині території басейну, і представлені різними за складом пісками з прошарками глини і включеннями вапняку. Залягають на глибинах від 1 до 30м. Потужність алювію змінюється від 1 до 25 м. Потужність четвертинних відкладень змінюється від 1 до 25 м [1,7].

1.2.2 Ґрунтовий та рослинний покрив

Розглядувана територія відноситься до степової і південної частини правобережної лісостепової зон [7-9]. Різноманіття форм рельєфу, геологічної будови, достатньою кількості вологи, змінним режимом затоплення земель – з цим пов’язані особливості формування ґрунтово-рослинного покриву в дельті Дунаю. Усе перелічене визначає велику різноманітність типів і мозаїчну структуру поширення ґрунтів і рослинності.

У басейні ґрунти на оз. Катлабух такі:

- Піски глинисті, світло-сірого кольору, пилуваті-1,5 м.
- Суглинки сірі, мулкуваті, сіро-жовтого кольору-1 м.
- Суглинки легкі зеленувато-сірого кольору з жовтуватим відтінком з включенням карбонатів-2-9м.
- Суглинки середні жовтувато-коричневого кольору з рідкісними включеннями карбонатів і гідроокислотні 0,5-7,5 м.
- Суглинки легкі світло-сірого кольору - 2,5 м.
- Суглинки жовто-коричневі - 10,5 м.
- Суглинки важкі, пилові, м'якопластичні з вкрапленнями 1,5 м.

Дослідниками кінця XIX - початку XX століття описано флористичне різноманітність окремих ландшафтів Бессарабії і показано, що з 1417 видів найбільшу кількість рослин було характерно для полів і пасовищ, найменше для берегів річок, озер, лиманів і, особливо, моря [6].

Степова рослинність в районі досліджень приурочена до стрімкого піднесення ділянки і сповзаючим фрагментами схилів. Вона є сильно перетвореної випасом і зберігається в дещо більшою мірою на самому краї обривів, куди тварини не доходять. Щодо збереження ділянок степової рослинності приурочені також схили значною крутизни. Найбільш збереженими степовими ділянками слід вважати фрагментом ковилово-типчакових степів. Такі ділянки можна зустріти на узбережжях озера Ялпуг в

районах між селами Виноградівка і Владичень і між селами Криничне і Тополине, а також в урочищі "Жовтневе", де є однойменний заказник.

Лугова рослинність, як і болотна, внаслідок освоєння ділянок, які були зайняті нею раніше, не займає значних масивів. Ще однією причиною такої ситуації є меліорації басейнів більшості річок, на берегах яких така рослинність також була поширена. Лугова рослинність формується на підвищеннях узбережжя озер. Зустрічається вона в верхів'ях озера Китай. Оскільки ці місцеперебування пов'язані також з засоленням, в травостої лугових спільнот зустрічаються галофіти, які на особливо засолених ділянках формують самостійні співтовариства. Луга поділяють на справжні і болотисті.

Серед болотної (повітряно-водної) рослинності розрізняють фітоценози, утворені високо-, середньо- і низькотравних видами (відповідно високо-, средневисоко- і низькотравні болота). На придунайських озерах панують високотравні болота. Спільноти нізкотравної повітряно-водної рослинності досить поширені, але вони не утворюють значних за площею масивів. Більш-менш рівномірно вони зустрічаються в нижній частині акваторій озер, у верхній - зустрічаються фрагментарно.

Лісова рослинність в районі придунайських озер представлена вербово-тополиними лісами, які приурочені до берегів водотоків і основного русла Дунаю і найбільш характерні для озер Кугурлуй, Кагул і Катлабух. Крім цього, окремі фрагменти тополиних лісів зустрічаються на берегах водотоків, вони в значній мірі перетворені антропогенним впливом.

Водна рослинність широко представлена в даному регіоні, вона ділиться на вільноплаваючі, закріплені і занурені види.

1.2.3 Клімат

Клімат цього басейну поєднує, як помірно-континентальний так і середземноморський [1,7,11-12]. Помітний вплив на клімат регіону надає Чорне

море. Вітри, що дмуть з боку Чорного моря, сприяють розсіюванню хмарності і зниження кількості опадів.

Зима спостерігається коротка і м'яка з нестійким морозним періодом, літо тривале і спекотне, осінь тепла.

Опади випадають вкрай нерівномірно як по території, так і в часі. Для холодного періоду року типові затяжні опади малої інтенсивності. У кліматичному відношенні територія відзначається вельми високими ресурсами тепла і істотним дефіцитом вологи, що значно впливає на природні умови, біорізноманіття та соціально-економічний розвиток регіону.

Невелика повторюваність циклонів на розглянутій території є однією з головних причин порівняно невеликої кількості опадів, що випадають.

Середня річна норма опадів тут складає 380-410 мм [13-14], випаровування ж складає 800 мм [14], що дозволяє характеризувати регіон як посушливий. Значна амплітуда річних опадів по роках від 570-590 мм в багатоводний рік і 190-220 мм - в маловодний рік. Протягом року лише 65 - 85 днів з опадами.

Засухи різної інтенсивності (до 30=40 днів в році) вражають територію один раз в 3=4 роки, а в останні 15 років і частіше. Найбільша кількість опадів (65-45% річної норми) випадає в теплий період року, у вигляді злив.

Сніговий покрив встановлюється не щороку. Він з'являється в середньому на початку грудня і тримається до кінця лютого, початок березня.

Вітри, що дмуть з боку Чорного моря, проникають в глиб континенту на 30-50 км розсіюючи хмарність, і тим самим підвищують сонячну радіацію [12].

Середньорічна температура повітря 10-10,8 °С [13-14]. Середньомісячна температура повітря липня 22,4 °С - 22,9 °С. Максимальна температура липня 41,0 °С. Середньомісячна температура повітря в січні становить - 1,8 °С. Мінімальна температура в січні складає -29 °С. Льодостав на водосховищі розпочинається в кінці грудня, початок січня. Товщина льоду сягає 65-70 см. Льодохід зазвичай починається в кінці березня.

Суміщений хронологічний графік місячних сум випаровування з водної поверхні по м/ст Болград, сум опадів по м/ст Ізмаїл та рівнів води в озері Катлабух (1980 по 2020 рр.) наведений на рис.1.2. Характерною особливістю останніх років (2016-2020 рр.) стало значне підвищення величин місячних сум випаровування (254-267 мм у 2019 р.) на фоні зменшення кількості опадів у цей період особливо у 2018-2019 рр. (рис. 1.2.)

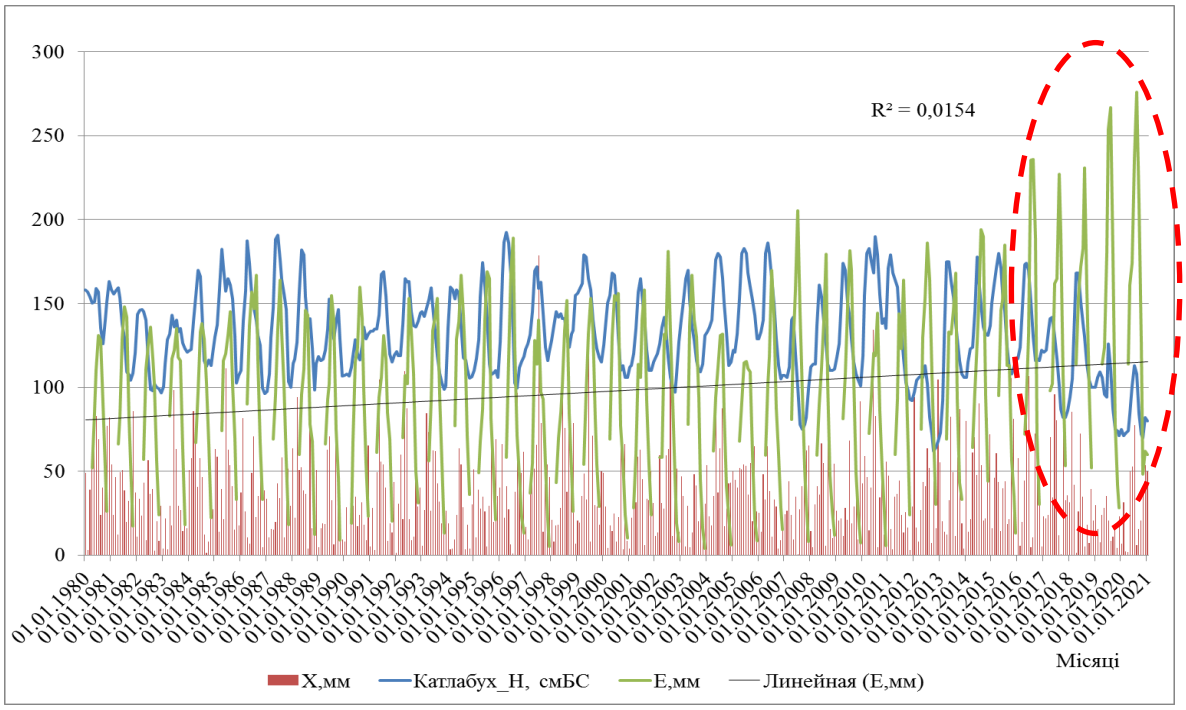


Рисунок 1.2 - Суміщений хронологічний графік місячних сум випаровування з водної поверхні по м/ст Болград, сум опадів по м/ст Ізмаїл та рівнів води в озері Катлабух (1980 по 2020 рр.)

1.3 Характеристика озера

Четверте за величиною і розташоване ближче до дельти і на схід від міста Ізмаїл - водосховище Катлабух (рис. 1.3). Разом з невеликим озером Сафьян Катлабух пов'язаний з Дунаєм каналом Желявській і Громадський. Желявській безпосередньо живить Катлабух дунайської водою, а Громадський, проходячи через дуже низькі гіпсометричні рівні, Старо-Некрасовські плавні [5].

Рис. 1.3 – Карта-схема озера Катлабух
[http://darg.gov.ua/files/7/04_06_karta_katlabug.jpg]

Озеро Катлабух складається з основної широкої частини двох заток - Гасан і Ташбунар, розташованих симетрично по боках вершини. Береги озера високі і круті. Між обривом і урізом води ширина узбережжя може досягати від 50 до 500 м. Південне узбережжя Катлабух поступово зливається з Кілійською заплавою Дунаю.

Загальна довжина берегової лінії - 75,4 км, основна частина, - 65,8 км представлені стабілізованими і нейтральними берегами. Абразивним процесам піддаються 2,3 км берегів. Формування берегів по абразивному типу

спостерігається в межах селищ Кислиця, Багате, Утконосівка. В районі смт Суворове руйнування відбуваються за рахунок зсувних деформацій [5].

1.3.1 Основні морфометричні характеристики озера Катлабух

Основні морфометричні характеристики озера Катлабух наведені в табл. 1.2 [1,5]. Загальна довжина водосховища становить 21,5 км, середня ширина – 2,0 км, найбільша 6,0 км в розширеній південній частині озера. Дно озера плоске, покрито мулистими ґрунтами. Має місце поступове поглиблення від берега до центральної частини водойми, де максимальна глибина в межень досягає 2 м. Під час повені в північній частині озера глибина сягає до 4 м [7].

Площа дзеркала при відмітці 1,0 мБС дорівнює 67 км^2, при підвищенні рівня до 3,0 м над рівнем Чорного моря вона збільшується до 69 км^2, а при меженних рівнях в літньо-осінній період – зменшується до 50-60 км^2 [5,7,1]. У зв'язку з тим, що рівень води в озері має значні коливання, площа його варіює в досить широких межах - від 59 до 71 км^2 [7].

Залежності площ водного дзеркала та об’ємів води від рівнів води у озері (криві площ водної поверхні та об’ємів води) представлені в табл. 1.3 та на рис. 1.4.

1.3.2 Гідрографічна мережа в басейні озера Катлабух

До відгородження природних проток і каналів, що з'єднують озеро Катлабух з річкою, гідрологічний режим озера визначався рівневим режимом Дунаю. У період стояння високих вод на річці, з лютого по червень, озеро наповнювався дунайської водою і стоком малих річок: Єніки, Великий Катлабух і Ташбунар.

Таблиця 1.2 – Морфометричні характеристики озера Катлабух [1, 5]

№ з/п	Параметр	Значення
1	Довжина, км	21,0
2	Ширина: максимальна, км середня, км	6,0 3,3
3	Глибина: максимальна, м середня, м	2,70 1,92
4	Площа дзеркала при НПР, км^2	68,5
5	Площа мілководь глибиною до 2 м (при НПР), км^2	29,5
6	Об’єм: повний, млн.м^3 корисний, млн.м^3	131,0 68,5
7	Протяжність берегової лінії водосховища, км	75,4
8	Нормативні лімітуючи відмітки рівнів води в озері: - нормальний підпірний рівень (НПР), м; - мінімальний рівень мертвого об’єму (РМО), м; - форсований підпірний рівень (ФПР), м; - максимальний форсований підпірний рівень води (ФПР) за максимальної витрати води зливового паводку 1%-ї забезпеченості, м	 1,70 0,70 2,40 3,00

Таблиця 1.3 – Координати кривих площ водного дзеркала і об’ємів води від рівнів води в озері Катлабух [5]

H, мБС	-1,0	-0,5	0,0	0,5	1,0	1,5	1,7	2,5
F, км^2	0,0	23,0	50,0	62,0	67,5	68,2	68,5	68,7
W, млн м^3	0,0	4,0	20,0	50,0	83,0	118,0	131,0	186,0

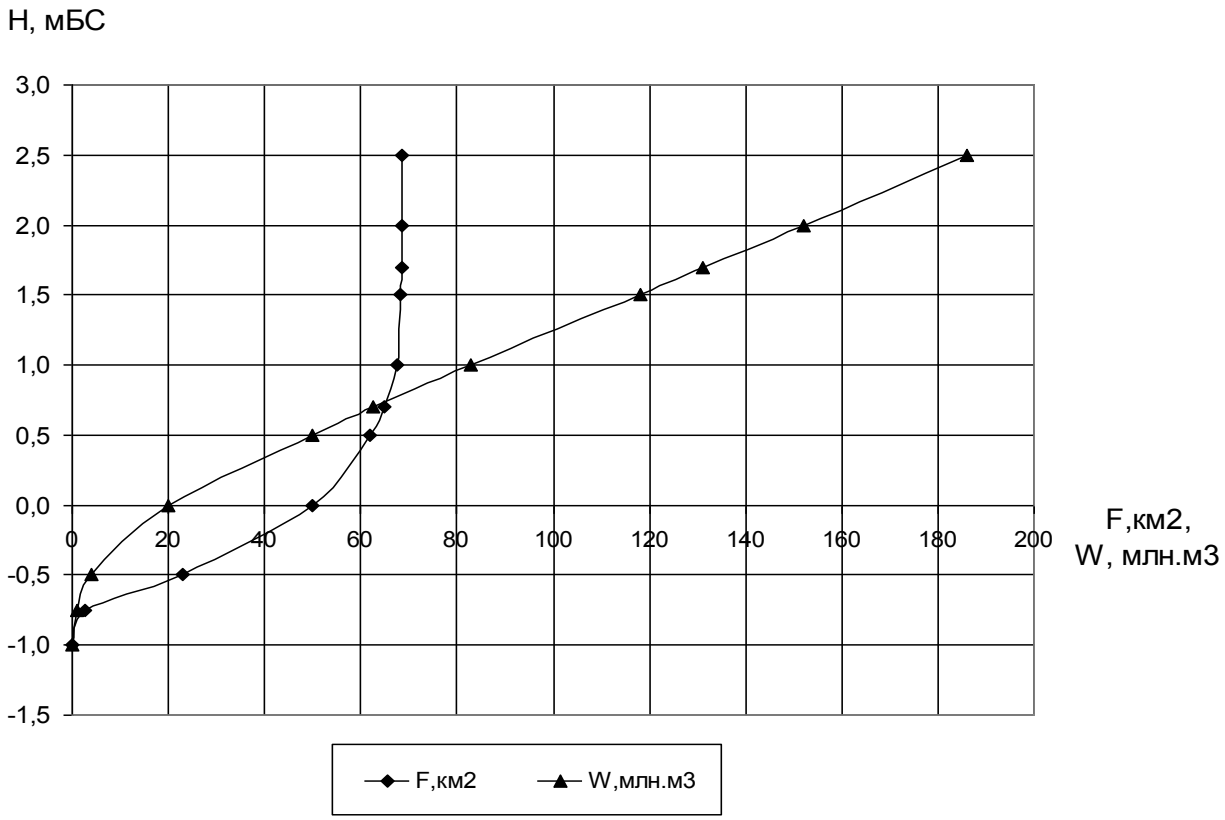


Рисунок 1.4 – Криві площ водного дзеркала і об’ємів води в озері Катлабух [5]

Басейн водосховища Катлабух знаходиться в межах межиріччя Дунай-Дністер. Річкова мережа представлена невеликими річками, гідрологічний режим яких повністю визначається місцевими фізико-географічними умовами. Їх витоки головним чином знаходяться на південних околицях Південно-Молдавської височини. Річки мають незначну протяжність своїх вузьких басейнів, витягнутих в меридіональному напрямку, широкі і глибокі долини,

схили яких сильно порізані мережею балок і ярів, слабо виражені і замулені русла. У 70-80 роках більшість маленьких річок було спрямлено і поглиблено. Деякі відомості по основним річкам, які впадають у водосховище Катлабух, наводяться в табл. 1.4.

Таблиця 1.4 – Морфометричні характеристики річок в басейні озера Катлабух

№	Назва водотоків	Площа, F, км^2	Довжина, L, км	Середня висота, $H_{ср}$, м	Ухил річки, $I_{зв}$, $^o/_{oo}$
1	В.Катлабух-гирло	536	49	90	2,6
2	Ташбунар- гирло	281	40	76	2,9
3	Єніка- гирло	243	40	87	1,6

Річка Єніка, протяжністю 40 км формує стік з площею водозбору 243 км². Річний стік 50%-ої забезпеченості становить 1,99 млн.м³, 75%-ої забезпеченості - 0,6 млн.м³, 95-ї забезпеченості - 0,16 млн.м³. Максимальний стік 1%-ої забезпеченості становить 122 м³/с. В інші частини озера впадають річки: В.Катлабух і Ташбунар.

Річка В.Катлабух, протяжністю 49 км, має площу водозбору 536 км², ЇЇ річний стік 50%-ої забезпеченості становить 3,78 млн.м³, 75%-ої забезпеченості - 1,13 млн.м³, 95%-ої забезпеченості - 0,76 млн.м³, максимальний стік 1%-ої забезпеченості - 219 м³/с.

Річка Ташбунар довжиною 40 км, площею водозбору 281 км² має річний стік 50%-ої забезпеченості 2,3 млнм³, 75% -ої забезпеченості - 0,69 млн.м³, 95%-ої забезпеченості - 0,19 млн.м³, максимальний стік 1%-ої забезпеченості дорівнює 123 м³/с.

Живлення річок залежить від кількості опадів, що випали. Частка підземного живлення мізерно мала.

Території на водозборах річок відчувають значне антропогенне навантаження з інтенсифікацією в 60-х роках сільського господарства. Оранка і вирубка лісів, розчищення річок, зарегулювання стоку привели до зниження водності, збільшення випаровування з водної поверхні і відповідно до погіршення якості води річок.

На річці Єніка побудовано 2 ставка із загальним обсягом 0,55 млн.м³, на Ташбунар 4 ставки із загальним обсягом 5,645 млн.м³, на р. В.Катлабух побудовано 7 ставків із загальним об'ємом 3,345 млн.м³. За даними паспортів зазначених річок випаровування в рік 50%-ої забезпеченості становить 503,2 млн.м³, що становить близько 5% від загальнорічного стоку.

В цілому якість поверхневих вод малих річок Єніка, В.Катлабух, Ташбунар погіршився. Збільшується мінералізація води. Однак має місце поліпшення якості води в весняний період після проходження значних осінніх і весняних паводків і повеней, які, з огляду на особливості клімату території, спостерігаються останнім часом рідко.

1.3.3 Гідрологічний режим озера Катлабух

Рівневий режим озера Катлабух визначається річним ходом рівнів води в Дунаї [1, 5]. Всього лише 100 років тому під час весняно-літньої повені озеро заповнювалося свіжою водою і поєднувалося з затопленої заплавою Дунаю, перетворюючись в єдине водно-болотне угіддя і було джерелом розвитку біорізноманіття. З давніх-давен це були місця нерестовищ багатьох видів риб і проживання звірів, прогонових птахів.

Обвалування заплавних територій озера з боку Кислицького рукава в 60-70-х роках минулого століття порушили ритм і водний режим природної екосистеми водосховища Катлабух. Під час будівництва дамб багато природних протоків були зруйновані, а замість інших споруджені канали. Заповнення водосховища Катлабух стало проводитися по каналу «Желявскій» пропускною спроможністю 70 м³/с. Колись багаті природні проживання ветландів

перетворилися в сплановані польдери і стали використовуватися як сільськогосподарські землі і для промислового риборозведення. В цей же період йде будівництво шлюзів-регуляторів з ініціативи рибогосподарських організацій для регулювання рівнів у водосховищі в меженний період. Значно змінилися водності малих річок, що впадають у водосховище Катлабух. Малі річки в даний час формують локальний стік з площ водозбору.

З 1980 року і до цього дня на водосховищі Катлабух Облводгосп здійснює водний менеджмент, заснований на розроблених Правилах експлуатації [5] і наближенні режиму озера до природних процесів і ритмам річки Дунай. Різниця між природною і зарегульованою амплітудою скоротилося більш ніж, на 2 м. Щорічно проводиться спрацювання озера на осінньо-зимовий період до рівнів, що забезпечують природні умови для зимівлі риб, для підвищення глибини водообміну. Це дозволить під час повені наповнити озеро великими обсягами свіжої дунайської води, поліпшити якість води і створити умови наближені до природних в нерестовий період.

Однак останнім часом повінь на річці Дунай проходить з низькими рівнями, що не дає можливості через замулення підвідного каналу «Желявскій» наповнювати водосховище самопливом. Здійснювати підкачування води в необхідних обсягах для заповнення озера в осінньо-літній період є дорогим заходом і через відсутність коштів вельми проблематично. Тому в даному напрямку водний менеджмент по досягненню глибини водообміну має обмежені можливості без проведення поглиблення і розчищення каналу «Желявскій».

Для озера встановлені лімітуючи горизонти - УМО, НПУ і ФПУ, в межах яких і здійснюється коливання рівня. Гідрологічний режим озера переведений в статус водосховища - вирівняний режим має чотири фази: весняного наповнення, річного тримання рівнів, осінньо-зимової спрацювання, зимового стояння рівнів.

У табл.1.5 надані лімітуючи горизонти озера, наведені в «Правила експлуатації водосховища» [5], а характерні рівні озера Катлабух за 1980-2020рр. - в табл. 1.6.

Таблиця 1.5 - Лімітуючи горизонти озера Катлабух

Озеро	Горизонт		
	УМО, мБС	НПУ, мБС	ФПУ, мБС
Катлабух	0,70	1,70	3,00

Таблиця 1.6 - Характерні рівні води озера Катлабух за 1980-2020рр.

Характеристика	Н макс	Н мін	Н сер
Рівні води, мБс	1,92	0,62	1,31

Хронологічний графік ходу середньомісячних рівнів і мінералізації води за період 1980-2020 рр. був побудований для аналізу багаторічної мінливості рівнів води в озері (рис. 1.5). На цьому графіку можна спостерігати багаторічну тенденцію до незначного зниження рівнів води в озері (пунктирна лінія – це лінія тренду для середньомісячних рівнів води). Багаторічний хід мінералізації води має багаторічні коливання, які пов’язані зі змінами гідротехнічних умов господарського використання озера Катлабух, водністю Дунаю та кліматичними змінами.

На приведеному нижче графіку можна побачити, що максимальні рівні води у році частіше за все спостерігаються у період весняного водопілля. Поступовий спад рівнів води відбувається довго у період літньо-осінньої межені, поки не досягне мінімальних значень.

Характерною особливістю останніх двох десятиріч стали тривалі сезонні зниження рівнів води майже до відміток РМО 0,7 мБС. Це стало причиною обміління водойми, погіршення якості води і взагалі деградації екосистеми озера. Особливо катастрофічною стала ситуація у 2019, 2020 роках.

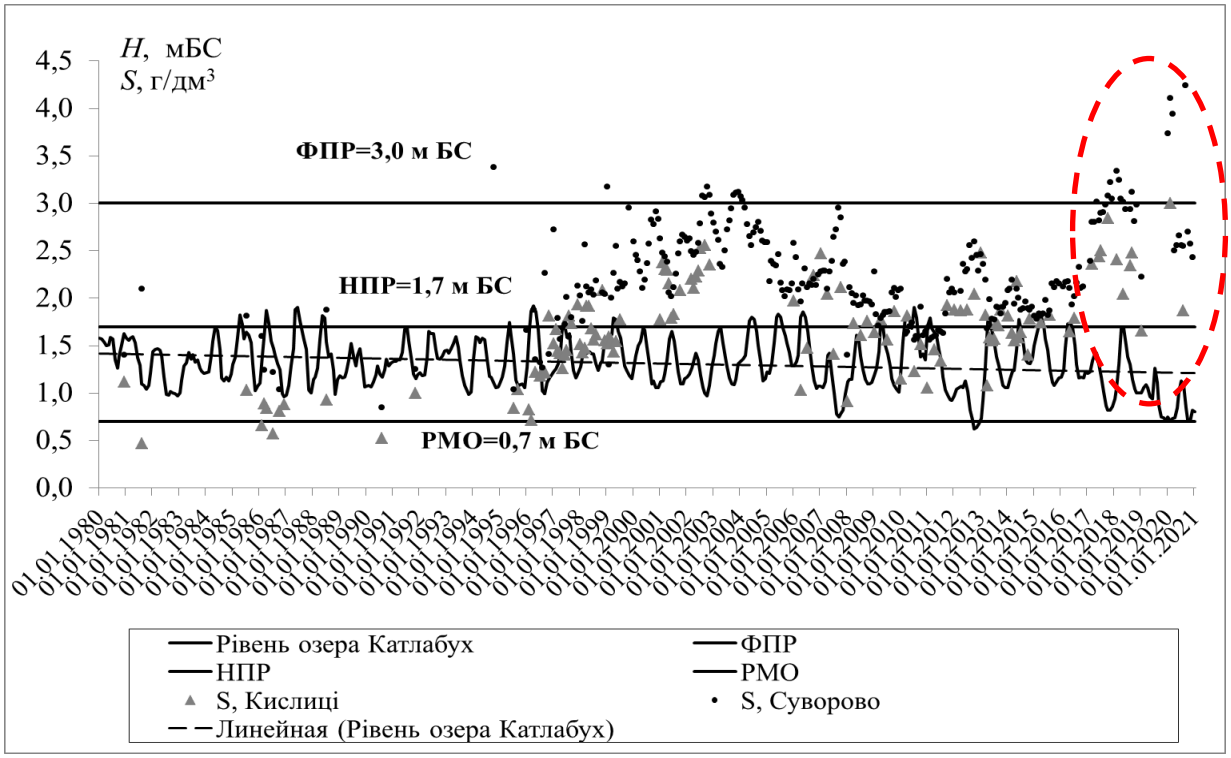


Рисунок 1.5 – Суміщений хронологічний графік ходу середньомісячних рівнів і мінералізації води в озері Катлабух

У зв’язку з низькими рівнями води в р. Дунай на початку 2020 р. склалися складні гідрологічні умови та спостерігалося маловоддя на всіх Придунайських водосховищах, у тому числі і на водосховищі Катлабух. На водосховищі Катлабух станом на 17 лютого рівень води наблизився до відмітки 0,73мБС(при рівні мертвого об’єму (РМО) 0,7 м БС) і мінералізації 4,11 г/дм^3 (при гранично допустимій концентрації (ГДК) 1,0 г/дм^3) при мінералізації на НС-2 Суворове – 4,11 г/дм ^{3} (рис. 1.5).

На поповнення водосховища водами р. Дунай було виділено 8 млн грн. Державних коштів.

Примусове поповнення водосховища здійснювалось з 24 березня 2020 р.

Середньодобовий об’єм поповнення водосховища складав 644,0 тис. м^3, при випаровуванні 397,0 тис.м^3. Це дало змогу здійснити водообмін у водосховищі та призвело до покращення якості води.

Станом на 28 липня 2020 р. обсяг поповнення водосховища Катлабух склав 75 млн м^3, при цьому рівень води виріс до відмітки 1,09 м БС, а мінералізація води у липні місяці знизилася до 2,56 г/дм^3 (НС-2 Суворове) (рис. 1.5). В осінньо-зимовий період рівні води в озері знов почали зменшуватися. Результати досліджень автора роботи наведені в публікації [15].

Аналіз проведеного водного менеджменту [6] показує, що на озері Катлабух мали місце переповнення над НПУ, однак горизонт ФПУ не перевищувався. Відносно мінімальних рівнів спостерігається явна тенденція на досягнення нижнього ліміту горизонту. Так в середньому за 20 років перевищення мінімального зафіксованого горизонту над УМО склало 0,33 м. В той же час мали місце зниження рівня під горизонт УМО в окремі, дуже маловодні роки. Зниження склало 0,50 м.

Моніторинг показує [6], що по групам років найкращі умови водообміну мають місце для середніх по водності років.

З огляду на той факт, що основний обсяг припливу приходить в період весняної повені на Дунаї, реальне значне збільшення обсягів водообміну вимагає нормативних спрацювань в передзимовий період. Скорочення водообміну озер викликає погіршення якості води. Спостерігається підвищення мінералізації вище 1 г/ дм^3, що обумовлює обмеження використання води для зрошення і сільгоспводозабезпечення.

З аналізу умов водообміну озера і р. Дунай в природних умовах і в умовах після будівництва шлюзів і дамб обвалування в [6] зроблені наступні висновки.

1. Основна причина в недостатньому водообміні озера з р.Дунай в першу чергу пояснюється тим, що зменшився фронт водообміну в порівнянні з природним.

2. Середні обсяги водообміну озера з р.Дунай для умов природного зв'язку р.Дунай становили 60-106 млн м^3/рік, а для умов після будівництва шлюзів і дамб обвалування в даний час складають 34-50 млн м^3/рік., тобто водообмін з р.Дунай зменшився в 1,8-2,1 рази, що викликало поступове підвищення мінералізації води в озері.

3. Незадовільний технічний стан існуючих шлюзів і каналів, що з'єднують озера з р.Дунай не дозволяють ефективно виконувати рекомендовані оперативні експлуатаційні дії по наповненню і спорожнення озера. Внаслідок замулення пропускна здатність каналу "Желявській" зменшилася. Під час повені він забезпечує пропуск 18,8 м³/с.

4. Після розчищення каналу «Желявській» можна забезпечити щорічний водообмін озера з р.Дунай в обсязі 70 млн.м³ на рік.

5. Для заповнення припливу свіжої води при низьких рівнях на р.Дунай необхідна закачування води в обсягах 30-60 млн м³/рік, що вельми проблематично через відсутність грошових коштів на оплату електроенергії.

Часткова роздамбовка польдера дозволить відновити плавневу зону і природний біофільтр з вищої водної рослинності. Відродження водно-болотних угідь створить передумови щодо поліпшення якості води в озері і зменшення якості води в озері і зменшення замулення каналу і озер.

1.3.4 Гідрологічній режим річки Дунай

Річний хід рівнів води в гирлової області Дунаю характеризується в основному наступними сезонними коливаннями: весняно-літньою повінню (період з березня по червень-липень), літньо-осінньої меженью (серпень - жовтень) і осіннім паводком, який переходить в грудні в зимову межень. Середній річний рівень у Рені за аналізований період 1945-2015 рр. склав 2,69 м БС, а в місті Ізмаїл за період 1921-2015 рр. - 1,49 м БС [16].

В табл. 1.7 наведені також характерні рівні води в р. Дунай, а саме, вищий і нижчий рівень води за рік, а також коливання рівнів води за рік.

У внутрішньорічному ході середніх, максимальних і мінімальних рівнів води р. Дунай має місце певна аналогія [17]. У маловодні та середньоводні роки найбільші рівні спостерігалися в квітні і травні, тоді як в багатоводні роки високі рівні відзначалися майже протягом 5 місяців, а потім знижувалися до

межових і знову перейшли в багатоводну фазу. Найменші рівні практично завжди припадають на початок осені [16,17].

Повінь на Дунаї відрізняється великою тривалістю в середньому близько 4 місяців. Підйом води в річці в створі озера піднімався до 4 м (табл. 1.7), а в озері - 2,5 м. Тому зі спадом рівнів на річці відбувається відтік води з озера і плавнів. Подібні регулярні паводки забезпечували «подих озера» і надходження цінних біогенних речовин, що сприяло розвитку водно-болотних угідь. Тривалі і регулярні паводки промивали екосистему: озеро-плавні і вимивали солі, які накопичувалися при випаровуванні в воді та ґрунті в жаркий літній період.

Таблиця 1.7 - Характерні рівні води р. Дунай [16]

Характе-ристика	Серед-ній рівень за рік	Вищий рівень за рік, см		Нижчий рівень за рік, см		Коливання рівня за рік, см	
		серед ній	Вищий	сере дній	нижчий	серед-ній	найб.
р. Дунай – м. Рені (відмітка нуля поста 0,23 м БС до 1976; відмітка нуля поста 0,36 м БС-77) 1945–2015 рр. [12], в дужках (1921-2015 рр.)							
рівень води	233 (232)	438	581	44	-40 (-66)	391	534
дата	-	12.04	06.07.2010	17.10	29.12.1953 (28.10.1921)		1985
р. Дунай, Кілійське гирло – м. Ізмаїл (відмітка нуля поста -0,23м БС до 1976; відмітка нуля поста -0,18 м БС-77) 1921–2015 рр.							
рівень води	167	303	420	39	-30	265	369
дата	-	22.04	22.05.1970	01.11	30.10, 01.11.1921		1942

Внутрішньорічний розподіл середніх, максимальних і мінімальних значень мінералізації води р. Дунай слабо залежить від його водності. Однак, для маловодного і, частково, для середньоводного року, можна все ж виділити 3 періоди, коли мінералізація підвищується майже до позначки 600 мг/дм³. Перший період припадає на початок календарного року (I-IV місяці). Підвищення рівнів Дунаю, викликане весняною повінню і весняно-літніми паводками, призводить до зниження мінералізації в травні. Початок меженної фази водного режиму Дунаю, яка характеризується підвищеним випаровуванням і порівняно невеликою кількістю опадів, обумовлює наявність другого періоду (VI-VII місяці). Третій період підвищеної мінералізації доводиться на X і XI місяці. У багатоводний рік мінералізація мало залежить від стоку річки і залишається практично однаковою протягом всього року (приблизно 300-330мг/дм³). Мінералізація води р.Дунай слабо змінюється протягом року. У маловодні роки вона не виходить з діапазону 450-600 мг/дм³, а в багатоводні - практично не змінюється і залишається на рівні 300 - 330 мг/дм³.

1.3.5 Характеристика рівневого режиму річок, що живлять озеро Катлабух

До Причорноморського гідрологічного району відносяться річки Великий Катлабух, Єніка та Ташбунар, вони характеризуються періодичним стоком під час танення снігу і випадіння інтенсивних рідких опадів (дощів) [1,7]. Рівневі режими річок характеризуються яскраво вираженими весняним водопіллям, низькою меженню влітку і низьким стійким стоянням рівня води взимку. В окремі роки водопілля весною відсутнє або ж спостерігається у незначних об’ємах. Інтенсивний підйом рівнів навесні зазвичай спостерігається в кінці лютого - початку березня.

Максимальний рівень водопілля навесні настає приблизно через 7 днів після початку їх підйому і спостерігається в першу декаду березня. Водопілля

зазвичай проходить одним піком, який утримується найчастіше протягом 1-2 днів, після чого йде спад, що триває близько 14 днів. Спад рівнів води в перші дні проходить досить інтенсивно.

1.4 Господарське використання озера Катлабух

1.4.1 Сільськогосподарське використання

Важливим фактом функціонування і соціально-екологічного розвитку даного регіону - є забезпечення водою народногосподарського комплексу, що розміщується в районі водосховища.

Цей регіон відноситься до зони інтенсивного землеробства із застосуванням зрошення. Рівень концентрації зрошуваних земель безпосередньо впливає на структуру посівних площ сільськогосподарських підприємств [5,6].

Вирощування сільгосппродукції на зрошуваних землях є традиційною і провідною галуззю регіону. Площа зрошуваних земель в басейні озера Катлабух становить 16894 га, з яких 15560 га - держсистеми і 1334 га - мале зрошення. В останні роки в зв'язку з процесами реформування аграрного сектора економіки, зокрема, земельних відносин, недосконалою і недостатньо стабільної податкової, кредитної та цінової політики в сільському господарстві спостерігається зменшення забору води на зрошення. Так в 1980 році з водосховища Катлабух було забрано 54,5 млн м³, в 2002 році - 2,81млн м³, в 2003 році - 1,97 млн м³ води.

Заплавні території використовуються практично на 100% під рибоводні ставки, з зарегульованим водопостачанням і примусовим режимом водообміну. У користуванні сільськогосподарських підприємств перебуває близько 60% всіх земельних ресурсів регіону. Рівень розораності території характеризується найвищими показниками області - близько 90%.

1.4.2 Рибне господарство

Озеро Катлабух, незважаючи на відносно невелику площу, відноситься до числа найбільш важливих рибогосподарських водойм Одеської області. Складаючи лише 3,5% від площі внутрішніх водойм області, Катлабух протягом останніх 20 років забезпечує від 13 до 21% від загального улову. Улов риби в озері Катлабух коливалися від 263,3 т до 1366,4 т [6].

До обвалування Дунаю і зарегулювання озера іхтіофауна характеризувалася високим рівнем видового різноманіття і включала практично всі види риб, що мешкають в нижній течії р.Дунай. В останні роки в промислових уловах реєструвалися: сазан, судак, лящ, срібний карась, сом, рибець, щука, золотий карась, жерех, чехоня, язь, густера, плотва, окунь. При цьому до 50% від загального вилову становив невеликий частик. У цей період при рибопродуктивності на рівні 34 кг/га щорічно в Катлабух виловлювали в середньому близько 55 т сазана, 25 т щуки і 8 т жереха. До середини 70-х років домінуючим видом став срібний карась, що володіє високою екологічною пластичністю.

Зарегулювання озера супроводжувалося його замуленням, зменшенням площ з підводною рослинністю, підвищенням мінералізації води, скороченням біомаси молюсків. Одночасно почала збільшуватися біомаса фітопланктону, в тому числі синьо-зелених. Евтрофіювання озера супроводжувалося періодичним «цвітінням» з біомасою фітоплактона в межах 190-200 г/м^3.

В кінці 60-х - на початку 70-х років XX століття Катлабух, як і інші Придунайські озера, почали інтенсивно зарибнювати рослиноїдними рибами: білим і строкатим товстолобиком і в меншій мірі білим амуром. У сімействі цих риб, які є природними матеріалами, повинно було знизити рівень розвитку фітопланктону і зменшити заростання озера вищою водною рослинністю. В середині 70-х років товстолобик став масовим, а потім і домінуючим видом у всіх придунайських водоймах, в тому числі і в озері Катлабух, де максимальний вилов в 1996 році склав 607,8 тон.

За класифікацією водойм С.Я. Бродського оз. Катлабух відносилося до унікальних водойм, де водяться раки, який при площі близько 6,0 тис. га забезпечував 13% світового вилову раків. Максимальний вилов рака - 258,2 тони припав на 1972 рік. У період піку промислу з 1959 по 1977 рік в озері Катлабух було спіймано 2673,4 тони раку, тобто в середньому 133,7 т в рік. У 70-х роках Катлабух давав до 39% від загального вилову раку в Україні і близько 24% від вилову СРСР. До 1978 року ці показники знизилися відповідно до 15 і 3,8%. У 2001 році в оз. Катлабух було виловлено всього 0,2 т раку.

Озеро Катлабух відноситься до числа найважливіших рибогосподарських водойм області. Разом з тим його рівневий режим і стан нерестовищ не забезпечує ефективного природного відтворення ставкових видів риб. Висока рибопродуктивність озера забезпечується його щорічним зарибненням товстолобиком.

1.4.3 Рекреація та туризм

З огляду на природне багатство і природну красу територій, прилеглих до озера Катлабух, ця місцевість використовується для рекреаційних цілей та екотуризму. В даний час водосховище Катлабух в рекреаційному відношенні використовується періодично рибалками-любителями і мисливцями [6].

У 2001 році в акваторії Катлабух був створений ландшафтний заповідник місцевого значення «Лунг», статус якого затверджено рішенням Одеської обласної ради «Про заходи щодо збереження та розвитку природно-заповідного фонду області» від 9 лютого 2001 роки за №263-XXIII. Територія заповідника «Лунг» має особливу природоохоронну, наукову, естетичну та пізнавальну цінність. Унікальність цієї території полягає в з'єднанні великого плавневого масиву і просторого дзеркала води. Велика кількість ділянок з відкритою водою - це місце розташування водних макрофітів-латаття жовтих, водяних лілій, сальвінії плаваючої, жабурчіка звичайного, і місць обітниці баклана малого,

каравайки, чаплі жовтої, орлана білохвостого та інших рідкісних видів флори і фауни, які занесені до Червоної книгу України.

Створення заповідника дає можливість:

- зберегти землі водного фонду, які є місцем зростання водних макрофітів;
- зберегти водно-болотні угіддя, які є цінним нерестилищем для багатьох видів риб;
- проведення наукових досліджень і спостережень на території заповідника;
- підтримання загального екологічного балансу в регіоні;
- поширення екологічних знань і інше.

Беручи до уваги вищевикладене, дана територія має великий потенціал для залучення туристів. Тому збереження природної краси природи і повернення до її витоків дозволить розвинути екотуризм в цьому регіоні і, головне, зберегти ті деякі ділянoчки недоторканою навколишнього середовища для підтримки екологічного балансу.

2 ВОДНИЙ І СОЛЬОВИЙ БАЛАНСИ ОЗЕРА КАТЛАБУХ

2.1 Структура водного балансу озера

Під *структурою водного балансу* будь-якої водойми розуміють співвідношення між різними прибутковими та видатковими складовими рівняння водного балансу [18-23].

Складовими прибуткової частини водного балансу будь-якого озера служать атмосферні опади x, поверхневий приплив $y_{\text{пов.пр.}}$, конденсація водяної пари на дзеркало озера $z_{\text{конд}}$, підземний приплив $w_{\text{пр}}$. Поверхневий приплив може бути як природним (річковий стік $y_{\text{пр.}}$), так і антропогенним (скидання відпрацьованих вод, наприклад зворотних вод зрошення, а також промислових, комунальних і стічних вод, $y_{\text{сбр.}}$) [20].

Складові витратної частини рівняння водного балансу стічного озера це поверхневий відтік з озера $y_{\text{пов.ст.}}$, підземний відтік (фільтрація) з озера $w_{\text{ст}}$, випаровування з поверхні озера $z_{\text{вип}}$. Поверхневий відтік складається з стоку витікаючої з озера річки $y_{\text{ст}}$, і штучного водозабору на господарські потреби $y_{\text{вдзб}}$ (на зрошення, водопостачання і т. д.). Зміна запасів води в озері позначається через $\pm\Delta u$ [20].

Виходячи із загального рівняння водного балансу будь-якого водного об'єкта і з огляду на прийняті позначення, рівняння водного балансу стічного озера представимо в наступному вигляді [20]

$$x + y_{\text{пр}} + y_{\text{сбр}} + z_{\text{конд}} + w_{\text{пр}} = y_{\text{ст}} + y_{\text{вдзб}} + z_{\text{вип}} + w_{\text{ст}} \pm \Delta u. \qquad (2.1)$$

Для безстічного озера рівняння водного балансу буде таким же, але тільки без члена $y_{\text{ст}}$ у розхідній частині.

Як і для інших водних об'єктів, члени рівняння (2.1) відносять до деякого інтервалу часу Δt (місяць, рік, в середньому за кілька років і т. д.) та виражають або в величинах шару (м, см, мм), або в об'ємних одиницях (км³, м³).

Для характеристики структури прибуткової і видаткової частин рівняння водного балансу стічної водойми К. К. Едельштейн запропонував враховувати відповідно частку опадів і випаровування в обох частинах рівняння. Розглянемо випадок рівноважного стану водного балансу озера: прихід вод дорівнює їх витраті і рівень водойми стабільний. У рівнянні водного балансу (2.1) знехтуймо майже усіма членами. Тоді рівняння водного балансу такого озера з незмінним рівнем води (рис. 2.1) буде виглядати в об'ємних одиницях наступним чином [20]

$$X_{\text{оз}} + Y_{\text{пр}} = Y_{\text{ст}} + Z_{\text{оз}} \ , \tag{2.2}$$

тобто об’єми опадів на поверхню озера і припливу до озера, з одного боку, і річкового стоку з озера і випаровування з його поверхні, з іншого, дорівнюють.

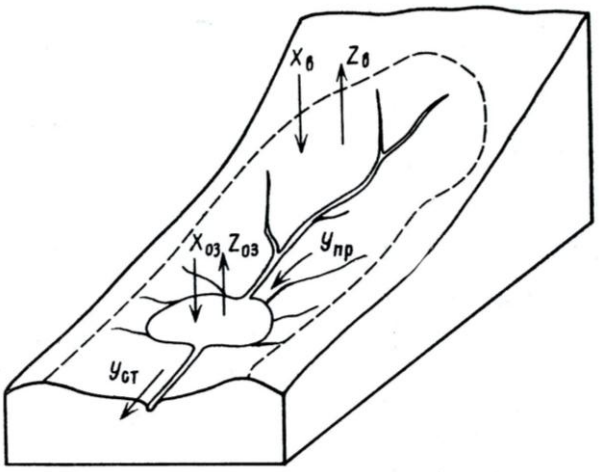


Рисунок 2.1 – Найпростіша схема формування водного балансу стічного озера зі стабільним рівнем води [20]

Стічні озера характерні для зон достатнього і надмірного зволоження, випарні - для зон недостатнього зволоження.

2.2 Організація та проведення спостережень за елементами водного балансу озер

Стаціонарна гідрометеорологічна мережа СРСР на озерах і водосховищах включає спеціалізовані гідрометеорологічні обсерваторії, озерні станції, суднові гідрометеорологічні станції і озерні пости. Для оцінки особливостей водойми і з метою планування технічного оснащення станцій і постів водойми (озера) умовно діляться на три групи: великі, середні та малі. До групи великих озер відносять озера з площею понад 2000 км² і з середньою глибиною не менше 18 м. До групи середніх озер включають водойми площею від 100 до 2000 км² і середньою глибиною від 7 до 18 м. До групи малих озер відносять ті з них, площа яких не перевищує 100 км², а середня глибина не перевищує 7 м. Озеро Катлабух відноситься до *групи малих озер*. На відміну від озер, віднесення водосховищ до тієї чи іншої групи здійснюють тільки на підставі розмірів площі без урахування глибини [19].

Гідрологічні пости та озерні станції виконують спостереження на березі, з берега, в прибережній і відкритої областях водойми за програмою основних спостережень і робіт. Крім основних (обов’язкових) виконують додаткові спостереження за: 1) випаровуванням з водної поверхні; 2) температурою води в поверхневому шарі за термічними профілями; 3) висотою рівня підземних вод; 4) сгонно-нагонними коливаннями рівня; 5) напрямком і швидкістю течій; 6) витратами води в пригирлових частинах приток; 7) розподілом гідрометелементів над водоймою; 8) питомою вагою води; 9) льодовими явищами; 10) переробкою берегів і берегової зони; 11) замуленням водойм.

До додаткових (нестандартних) спостереженням і робіт відносяться спостереження за стоком малих річок і струмків, що впадають у водойму, випаровуванням і вологістю перезволожених ґрунтів в береговій зоні, випаровуванням з заростаючих ділянок водосховищ. Ці спостереження організовуються як гідрометеорологічними обсерваторіями, так і експедиціями.

При організації озерних станцій і постів виконують такі роботи: 1) рекогносцировку озера; 2) гідрографічну зйомку всього малого озера і частини великої водойми в районі станції і посади; 3) обробку матеріалів; 4) вибір місця для станцій, постів та спостережних пунктів; 5) пристрій станцій і постів.

2.3 Рівняння водного балансу озера Катлабух

Для того, щоб можна було вирішити питання, які пов'язані з оновленням води та підтримки сприятливих умов функціонування водойми Катлабух у майбутньому в сучасних умовах його експлуатації, описаних автором роботи у першому розділі, а також в роботах авторів [24,25], у наступному розділі проведені розрахунки водних балансів озера та дослідження.

Загальний вигляд рівняння водного балансу має такий [25]:

$$\begin{aligned}(\Sigma V_i)_{пр} - (\Sigma V_i)_{вит} = V_{P_i} + V_{ri} + V_{bi} + V_{gi} + V_{dri} + V_{Di} - \\ - V_{Ei} - V_{tri} - V_{fi} - V_{zi} - V_{Di}' - V_{ozi},\end{aligned} \quad (2.3)$$

До складу компонентів приходної частини водного балансу входять такі компоненти (у млн м^3):

V_{P_i} - атмосферні опади;

V_{ri} - річковий стік;

V_{bi} - бічний приплив;

V_{gri} - приплив ґрунтових вод;

V_{dri} - приплив дренажних вод;

V_{Di} - стік річки Дунай.

До компонентів витратної частини відносяться такі складові:

V_{Ei} - об'єм випаровування з водної поверхні озера;

V_{tri} - об'єм транспірації водною рослинністю;

V_{fi} - об'єм фільтрації води в береги;

V_{zi} - об'єм забору води з водосховища Катлабух;

V'_{Di} - об'єм скидів води з озера в р. Дунай;

V_{ozi} - підтримка рівнів води озер Лунг-Саф'ян.

Вирішення рівняння (2.3) може існувати при сучасній схемі водообміну (за рахунок підкачки води з р.Дунай) та при вільному обміні водою з р. Дунай (її надходження самопливним шляхом та скидів озерних вод восени при регулюванні шлюзами)**.**

Як видно з рис. 2.2 до приходної частини водного балансу озера відносяться: атмосферні опади (V_{P_i}), поверхневий стік малих річок (V_{r_i}), приплив ґрунтових вод по периметру водойми (V_{gr_i}), дренажні води зрошувальних систем (V_{dr_i}), наповнення озера Дунайською водою (V_{D_i}).

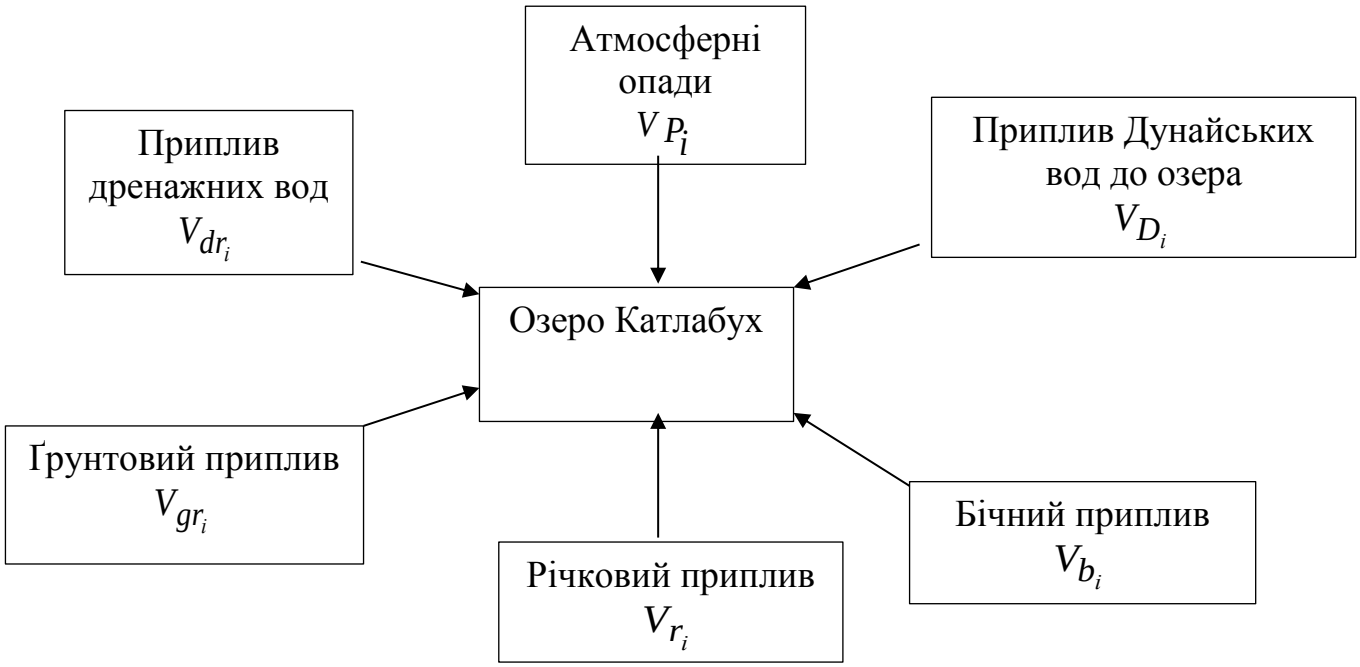


Рисунок 2.2 – Приходна складова водного балансу озера Катлабух

Основні складові витратної частини водного балансу представлені у вигляді схеми на рис. 2.3. До них відносяться: об'єм випаровування (V_{Ei}), об'єм транспірації водною рослинністю (V_{tri}), об'єм фільтрації (V_{fi}), сумарний забір води з озера (V_{zi}), скиди води у р. Дунай (V_{Di}'), підтримка рівнів системи озер Лунг – Саф'ян (V_{ozi}) для *i* –го – розрахункового місяця.

Складові приходної і витратної частин балансу представлені у млн м^3, а саме мають розмірність (10^6м^3).

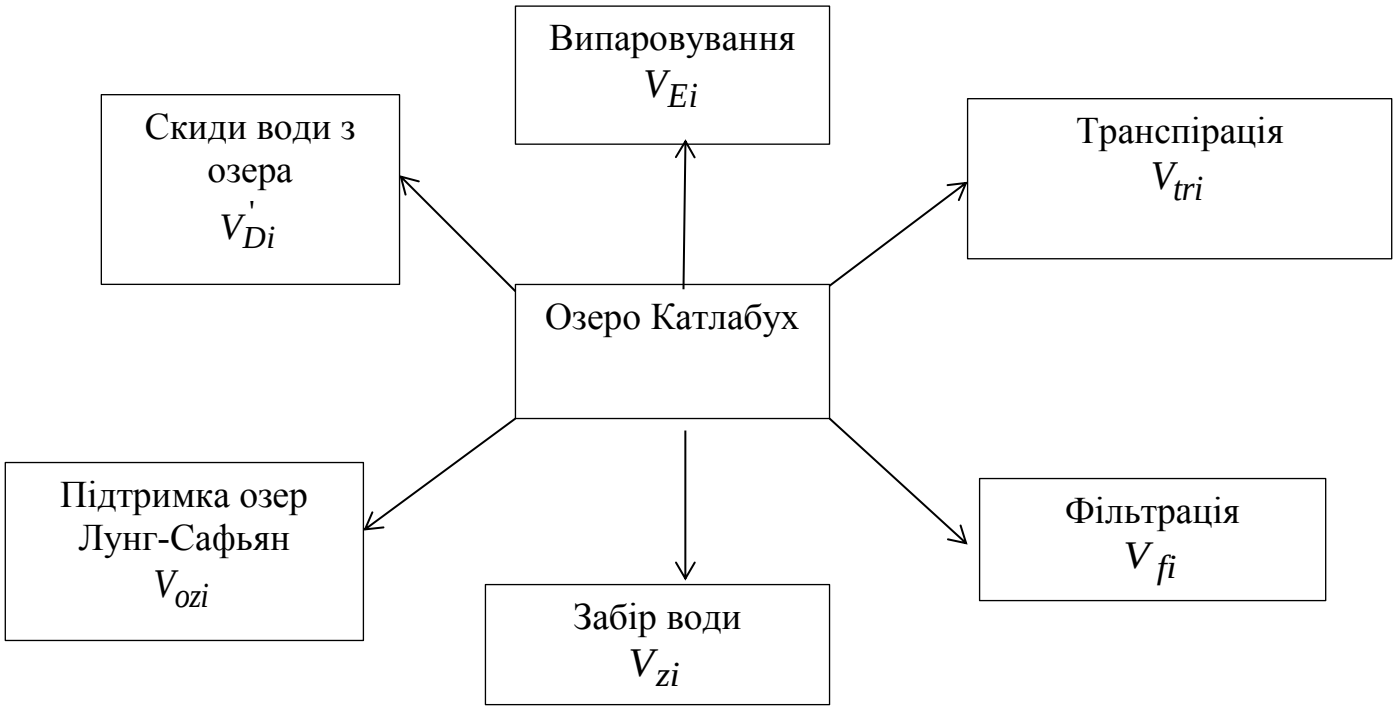


Рисунок 2.3 - Схема витратної частини водного балансу озера Катлабух

2.4 Структура рівняння сольового балансу

Структура рівняння сольового балансу розглянута в роботах таких вчених як В.Н. Михайлов та А.Д. Добровольського [20], Є.Д. Гопченка та О.В. Гушлі [21], Н.С. Лободи, Ю.С. Тучковенка та ін. [22, 23], Ю.С.Медведєвої та ін. [24].

О.О. Алекін [26] виражає сольовий баланс такими елементами (в тис.т)

$$S_{пр} + S_{оп} + S_{гр} = S_{ст} + S_{еол} + S_{ф} + S_{ос}, \qquad (2.4)$$

де $S_{пр}$ - солі, привнесені притоками;

$S_{оп}$ - солі, привнесені атмосферними опадами і пилом;

$S_{гр}$ - солі, привнесені ґрунтовими водами;

$S_{ст}$ - солі, винесені стоком;

$S_{еол}$ - солі, винесені з водними бризками вітру;

$S_{ф}$ - солі, винесені при фільтрації з озера;

$S_{ос}$ - солі, які випали в осад (для прісних і солонуватих це $CaCO_3$, $MgCO_3$, сполуки силіцію та заліза).

Якщо виразити рівняння сольового балансу виду (2.4) відносно кількості солей у водоймищі на початок і кінець розрахункового *i*-того періоду [21], то отримаємо вираз (у тис. т)

$$S_{к_i} = S_{п_i} + S_{пр_i} + S_{гр_i} + S_{а_i} - S_{ст_i} - S_{ф_i} - S_{В_i} - S_{ос_i}, \qquad (2.5)$$

де $S_{к_i}$ та $S_{п_i}$ - кількість солей у водоймищі на початок та кінець розрахункового періоду;

$S_{пр_i}$ - прихід солей з поверхневим припливом;

$S_{гр_i}$ - прихід солей з підземним припливом;

$S_{а_i}$ - прихід солей з атмосферними опадами та вітром;

$S_{ст_i}$ та $S_{ф_i}$ - витрата солей з поверхневим та підземним стоком;

$S_{В_i}$ - витрата солей з вітровим виносом;

$S_{ос_i}$ - витрата солей, що осідають на дно.

Сольовий баланс тісно пов'язаний з водним балансом [20,21]. Найголовнішу роль у сольовому балансі мають приплив солей та їх винос зі стоком води [21].

Для лиманів Північно-Західного Причорномор’я, а саме для Тілігульского [22] та Куяльницького [23]. Рівняння сольового балансу записане авторами цих робіт у вигляді маси солей і мінералізації води в лимані наприкінці попереднього і наприкінці місяця, за який виконується розрахунок, тис. т. Враховується також мінералізація води при водообміні через канал «лиман-море» за місяць.

2.5 Рівняння сольового балансу озера Катлабух

Структура рівняння сольового балансу для озера Катлабух [24,25] може бути представлена у вигляді блок-схеми (рис. 2.4).

Рівняння сольового балансу для озера Катлабух може бути записане, якщо взяти за основу рівнянні водного балансу озера Катлабух [25] у вигляді кількості солей в озері (тис.т)

$$\begin{aligned} &W_1 S_1 + V_P S_P + V_r S_r + V_b S_b + V_g S_g + V_{dr} S_{dr} + V_D S_D = \\ &= W_2 S_2 + V_f S_f + V_z S_z + V_{D'} S_{D'} + V_{oz} S_{oz}, \end{aligned} \tag{2.6}$$

де S_1 і S_2 – середні по озеру мінералізація на початку та в кінці розрахункових місяців, кг/м^3;

W_1 і W_2 – об’єми води в озері на початку та у кінці розрахункових місяців, 10^{6}м^3;

S_P - мінералізація води в опадах, кг/м^3;

S_r - мінералізація води в річках, які впадають в озеро, кг/м^3;

S_b - мінералізація вод бічного припливу, кг/м^3;

S_g - мінералізація ґрунтових вод, кг/м^3;

S_{dr} - мінералізація дренажних вод, кг/м^3;

S_D - мінералізація води р. Дунай, кг/м^3;

S_f - мінералізація води, що витрачається на фільтрацію, кг/м^3;

S_z - мінералізація води, що витрачається на зрошування, кг/м^3;

$S_{D'}$ - мінералізація води, що скидається до р. Дунай, кг/м^3;

S_{oz} – мінералізація води, що витрачається на підтримку рівнів води в системі Лунг-Саф'ян, кг/м^3.

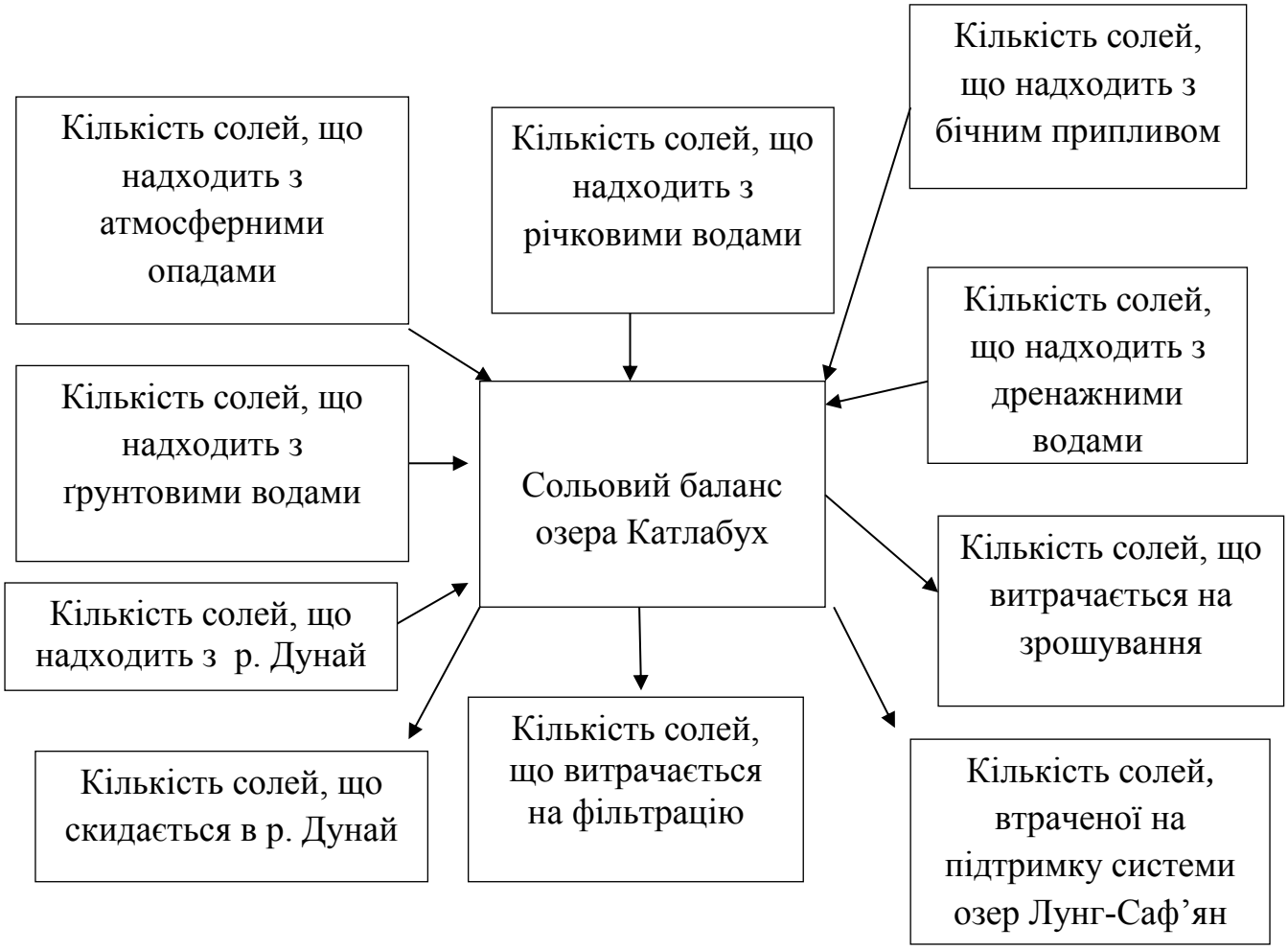


Рисунок 2.4 – Блок-схема сольового балансу озера Катлабух

2.6 Водні та сольові баланси, які представляються в зарубіжній літературі

У практиці закордоном дослідженню водно-сольових балансів озер (річних, сезонних, місячних) в останні часи приділяється велика увага у зв'язку з катастрофічними наслідками падіння рівнів води, підвищення мінералізації [27,28] чи обміління водойм [27-29], а іноді й зростання рівнів води в них [30].

Водний баланс озера чи водосховища у посібнику «Руководство по гидрологической практике» Всесвітньої метеорологічної організації [31] представляється у вигляді рівняння

$$E = I + P - V_{ss} - O \pm \Delta_s, \tag{2.7}$$

де E - випаровування;

I - приток;

P - опади;

V_{ss} - повна фільтрація та берегове регулювання;

O - відтік;

Δs - зміна запасів води.

Найголовнішими елементами балансу є дренажні води і річковий приплив, а гідравлічний зв'язок з морем гарантує набагато більш сприятливі умови для швидкого і повного водообміну.

Дослідженням сольових балансів озер, зазвичай, в зарубіжній літературі при аналізі складових водних балансів, присвячені роботи авторів [27,28,30,32].

Рівняння сольового балансу у роботі [32] представлено у вигляді (у мг/л)

$$S_p + S_i + S_r + S_d + S_f = S_c + S_{ppt} + S_{dw}, \tag{2.8}$$

де S_p - сіль у природних опадах, що випали на площу озера;

S_i - сіль у поливній воді;

S_r - залишкові солі у ґрунті;

S_d - сіль, розчинена від мінералів ґрунту;

S_f - сіль, зо вноситься разом із добривами;

S_c - сіль, що потрапляє з рослинами;

S_{ppt} - хімічна сіль, яка осідає у ґрунті;

S_{dw} - сіль у дренажній воді.

Вважають [27,28], що зменшення кількості опадів зменшує рівень, та тим самим підвищує мінералізацію і погіршує хімічний склад водоймищ. Приход прісної води в солоні озера набагато скоротився, в деяких випадках майже зник через забір підземних і поверхневих вод, в основному, для зрошення [30].

3 ВОДНИЙ БАЛАНС ОЗЕРА КАТЛАБУХ

3.1 Визначення приходної частини водних балансів озера

3.1.1 Атмосферні опади

Поблизу озера Катлабух та його водозбору ведуть регулярні систематичні спостереження метеорологічні станції Болград та Ізмаїл (рис. 3.1).

Рисунок 3.1 - Карта-схема розміщення метеостанцій Болград та Ізмаїл [33]

В роботі досліджено часові зміни в рядах спостережень річних опадів на досліджуваних метеостанціях м/ст Болград (з 1945-2020 рр.) та м/ст Ізмаїл (1949-2020 рр.).

Для дослідження складових водних балансів побудована крива забезпеченостей річних сум опадів по м/ст Болград з 1945-2020 рр. (рис. 3.2).

Для визначення статистичних забезпеченостей річних сум опадів P_P% використано рівняння

$$P_P = m/(n+1)*100\%, \quad (3.1)$$

де m – порядковий номер членів убуваючого ряду сум річних опадів;

n – тривалість ряду спостережень.

Рисунок 3.2 – Крива забезпеченості річних опадів по м/ст Болград (P, мм) з 1945-2020 рр.

Об'єми надходження атмосферних опадів на водну поверхню озера Катлабух розраховувалися за даними спостережень за опадами на м/ст Ізмаїл (для розрахункового місяця)

$$V_P = P \cdot F_{дз} / 10^3, \qquad (3.2)$$

де P - кількість опадів по м/ст Ізмаїл, мм;

$F_{дз}$ – площа водного дзеркала (км^2), яка відповідає середньомісячному рівню води в озері $H_{сер}$ (м БС).

Для розрахунку водних балансів озера Катлабух використані величини атмосферних опадів по м/ст Ізмаїл за 1980-2020 рр. Річні величини опадів за розрахунковий період змінюються від 224 мм (2019 р.) до 656 мм (1997 р.).

Об'єми надходження атмосферних опадів на водну поверхню озера (за даними м/ст Ізмаїл) одержані за (3.2) і наведені в табл. 3.1. На рис. 3.3 представлена багаторічна мінливість надходження за рік об’ємів води від атмосферних опадів на дзеркало озера Катлабух (за період з 1980 по 2020 рр.). Вони змінюються відповідно кількості опадів за рік – від 14,9 млн м^3 (2019 р.) до 44,5 млн м^3 (1997 р.).

Таблиця 3.1 – Об’єми річних величин опадів на водну поверхню озера за 1980 – 2020 рр. (м/ст Ізмаїл), мм

Роки	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
P, мм	651	486	313	345	495	534	428	379
V_p, млн м^3	44,5	33,0	21,2	23,5	33,7	36,4	29,1	25,8
Роки	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
P, мм	560	429	302	425	477	488	261	417
V_p, млн м^3	38,1	29,2	20,5	28,9	32,5	33,2	17,7	25,9
Роки	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
P, мм	495	656	563	508	362	414	500	329
V_p, млн м^3	36,1	44,7	38,3	34,7	24,6	26,0	35,0	23,3
Роки	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
P, мм	548	547	325	404	401	383	592	292
V_p, млн м^3	37,4	37,3	23,4	26,9	27,3	26,0	40,4	19,9

Роки	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
P, мм	516	445	634	490	578	509	383	224
V_p, млн м^3	34,3	30,1	21,8	33,5	39,5	34,4	26,0	14,9
Роки	2020							
P, мм	358							
V_p, млн м^3	23,5							

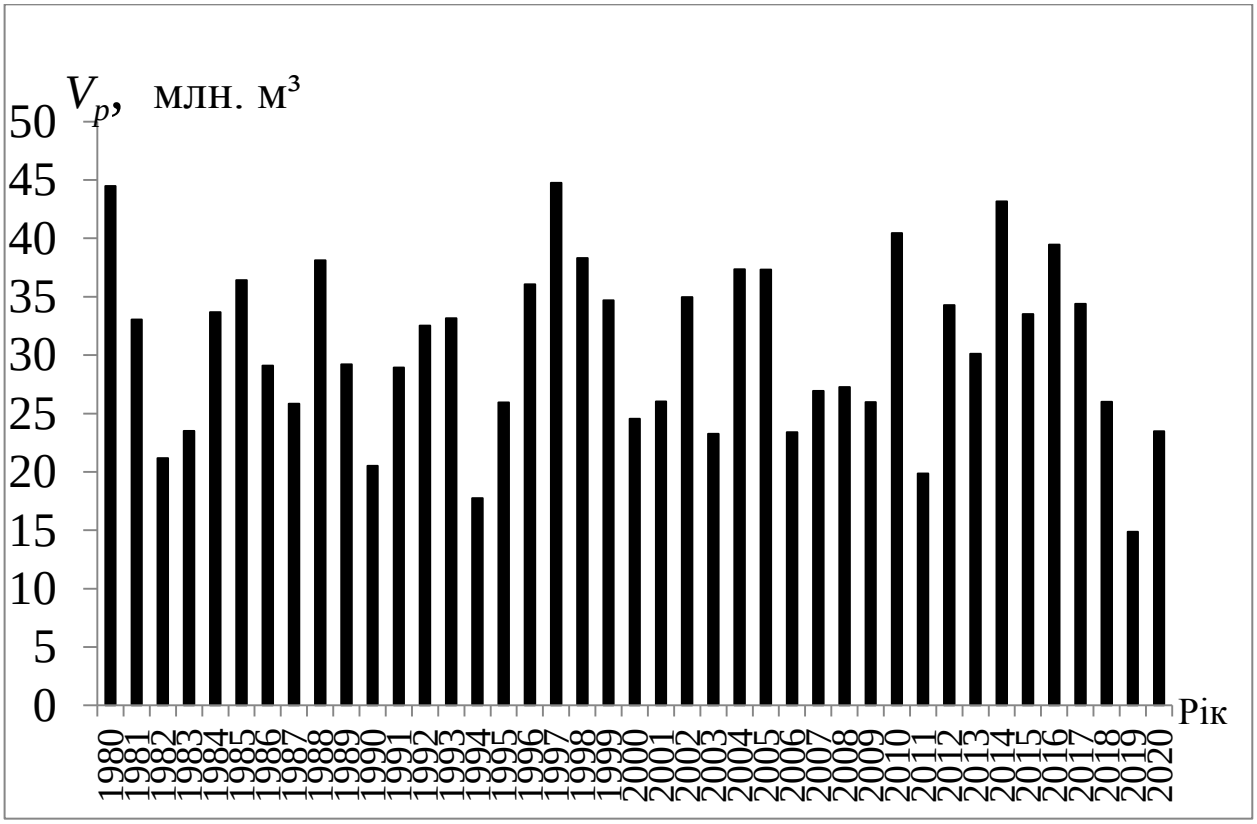


Рисунок 3.3 – Багаторічна мінливість об’ємів річних сум опадів на водну поверхню озера Катлабух (1980-2020 рр.)

3.1.2 Річний стік при відсутності спостережень

Загальна площа водозбору річок, які впадають в озеро Катлабух (р. Великий Катлабух, р. Ташбунар, р. Єніка) складає 1060 км^2. Скорочені морфометричні характеристики по основних річках басейну озера Катлабух наводяться у табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Морфометричні характеристики річок басейну озера Катлабух

№ з/п	Назва водотоків	Площа, F, км^2	Довжина, L, км	Середня висота, $H_{сер}$, м	Ухил річки, $I_{зв}$, $^o/_{oo}$
1	Великий Катлабух-устя	536	49	90	2,6
2	Ташбунар-устя	281	40	76	2,9
3	Єніка-устя	243	40	87	1,6

У зв’язку з відсутністю систематичних гідрологічних спостережень на річках для оцінки їх річного стоку прийнята модель «клімат-стік», запропонована Є. Д. Гопченком та Н. С. Лободою, в роботі для визначення середнього багаторічного модуля річного стоку невеликих річок, що живлять озеро Катлабух використана модель розрахунку природного річного стоку «клімат-стік» Є.Д. Гопченка та Н.С. Лободи [34]

$$\overline{Y_K} = \overline{X} - \overline{E_m}\left[1 + \left(\frac{\overline{X}}{\overline{E_m}}\right)^{-n}\right]^{-\frac{1}{n}} \tag{3.3}$$

де Y_K, X, E_m – середні багаторічні величини (норми) кліматичного річного стоку, опадів та максимально можливого випаровування, відповідно

Дана модель дає можливість визначити для озера Катлабух [33]:

1. Кліматичний річний стік – за картою норм річного кліматичного стоку (Y_K=20 мм);

2. Природний річний стік:

- з урахуванням коефіцієнту підстильної поверхні $K_{пер}$=0,42 (норма природного стоку $Y_{пр}$=8,4 мм; модуль річного стоку $q_{сер}$=0,27л/(с*км^2); при загальній площі всіх річок, що живлять озеро Катлабух F=1060 км^2 середня багаторічна річна витрата води $\overline{Q}$=0,29 м^3/с, об'єм річного стоку V_r= 9,15 млн м^3);

- середнє значення коефіцієнту варіації C_v (визначено на рівні 1,7);

- співвідношення C_s/C_v (прийнято в моделі на рівні 1,7 в межах території Північно-Західного Причорномор'я).

Відповідно рекомендацій СНиП 2.01.14-83 річний стік з площі водозборів малих річок k_p, за відсутності стокових спостережень на них, визначено з урахуванням забезпеченості водності року за формулою (3.4) [35].

Відповідно рекомендацій СНиП [35] річний стік Q_r з площі водозборів малих річок може бути визначений з урахуванням забезпеченості водності року за формулою

$$Q_r = k_p \cdot \overline{Q}, \tag{3.4}$$

де k_p - коефіцієнт, що враховує забезпеченість року ймовірністю p %.

При цьому, вважалось, що забезпеченість річного стоку дорівнює забезпеченості річних опадів, що визначена за кривою їх забезпеченості по м/ст Болград (рис. 3.2).

Коефіцієнти k_p визначаються по статистичних даних ряду (рядів річного природнього стоку) за кривою трипараметричного гама-розподілу С.Н. Крицького та М.Ф. Менкеля за таблицею [35] (при прийнятому співвідношенні C_s / C_v =2,0).

Типова схема внутрішньорічного розподілу річного стоку річок по місяцях наведена для різних за водністю років табл.3.3.

Таблиця 3.3 – Типовий розподіл (у %) річного стоку річок басейну озера Катлабух по місяцях в характерні за водністю роки

Водність року	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Багатоводний	2,6	4,3	13,5	41,3	7,3	10,3	7,2	6,4	0,0	0,0	0,0	7,9
Середньоводний	1,4	4,6	14,2	56,1	4,5	11,1	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4
Маловодний	0,0	14,3	25,6	44,0	7,6	8,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Об’єм надходження річного стоку невеликих річок V_r (млн м^3) розраховувався за виразом

$$V_r = Q_r \cdot 86400 \cdot 365 / 10^6, \qquad (3.5)$$

де Q_r - розрахований річний природній стік з площ водозборів річок басейну озера Катлабух різної забезпеченості;

86400 – кількість секунд в одній добі;

365– кількість діб у році.

В табл.3.4 (при C_v=1,7; C_s / C_v=2,0; $\bar{q}$=0,27 л/(с·км^2); F=1060 км^2) наведені об’єми річного природного стоку в басейні озера Катлабух різної забезпеченості в період 1980-2018 рр. [33], а також одержані автором роботи у 2019 і 2020 рр. [36]. Часовий хід багаторічної мінливості об’ємів природного стоку річок Великий Катлабух, Єніка і Ташбунар різної забезпеченості за період з 1980 по 2020 рр. наведений на рис. 3.4.

Проаналізувавши рис. 3.4, за період з 1980 по 2020 рр. розрахункові об’єми річного стоку малих річок, що впадають в озеро Катлабух змінювалися майже від нуля (1982, 1983, 1989, 1990, 1994, 2011, 2019 рр.) до 50,3 (1997 р.) млн м^3, в залежності від водності року.

Таблиця 3.4 – Об’єми річного природного стоку в басейні озера Катлабух різної забезпеченості

Роки	P_P,%	k_p	Q_r,м^3/с	V_r,млн м^3
1980	5	4,3	1,25	39,3
1981	20	1,6	0,46	14,6
1982	95	0,0002	0,0	0,0
1983	80	0,027	0,0078	0,2
1984	20	1,6	0,46	14,6
1985	19	2,94	0,85	26,9
1986	62	0,14	0,041	1,3
1987	50	0,31	0,09	2,8
1988	35	0,78	0,23	7,1
1989	80	0,027	0,0078	0,2
1990	89	0,006	0,0018	0,1
1991	33	0,86	0,25	7,9
1992	60	0,16	0,046	1,5
1993	28	0,162	0,34	10,6
1994	87	0,011	0,0032	0,1
1995	52	0,28	0,081	2,56
1996	18	1,8	0,522	16,5
1997	3	5,5	1,595	50,3
1998	25	1,24	0,36	11,3
1999	27	1,188	0,345	10,86
2000	70	0,07	0,02	0,64
2001	52	0,28	0,081	2,56
2002	48	0,36	0,11	3,33
2003	38	0,66	0,19	6,04
2004	18	1,8	0,522	16,5
2005	26	1,21	0,35	11,1
2006	71	0,07	0,02	0,60
2007	43	0,05	0,14	4,56
2008	68	0,09	0,03	0,80
2009	75	0,05	0,014	0,46
2010	4	4,9	1,42	44,8
2011	88	0,009	0,002	0,08
2012	10	2,6	0,75	23,8
2013	28	0,162	0,34	10,6
2014	10	2,6	0,75	23,8
2015	31	0,94	0,27	8,6
2016	20	1,6	0,46	14,6
2017	41	0,93	0,27	8,47
2018	80	0,027	0,0078	0,2
2019	95	0,018	0,005	0,16
2020	30	1,26	0,37	11,5

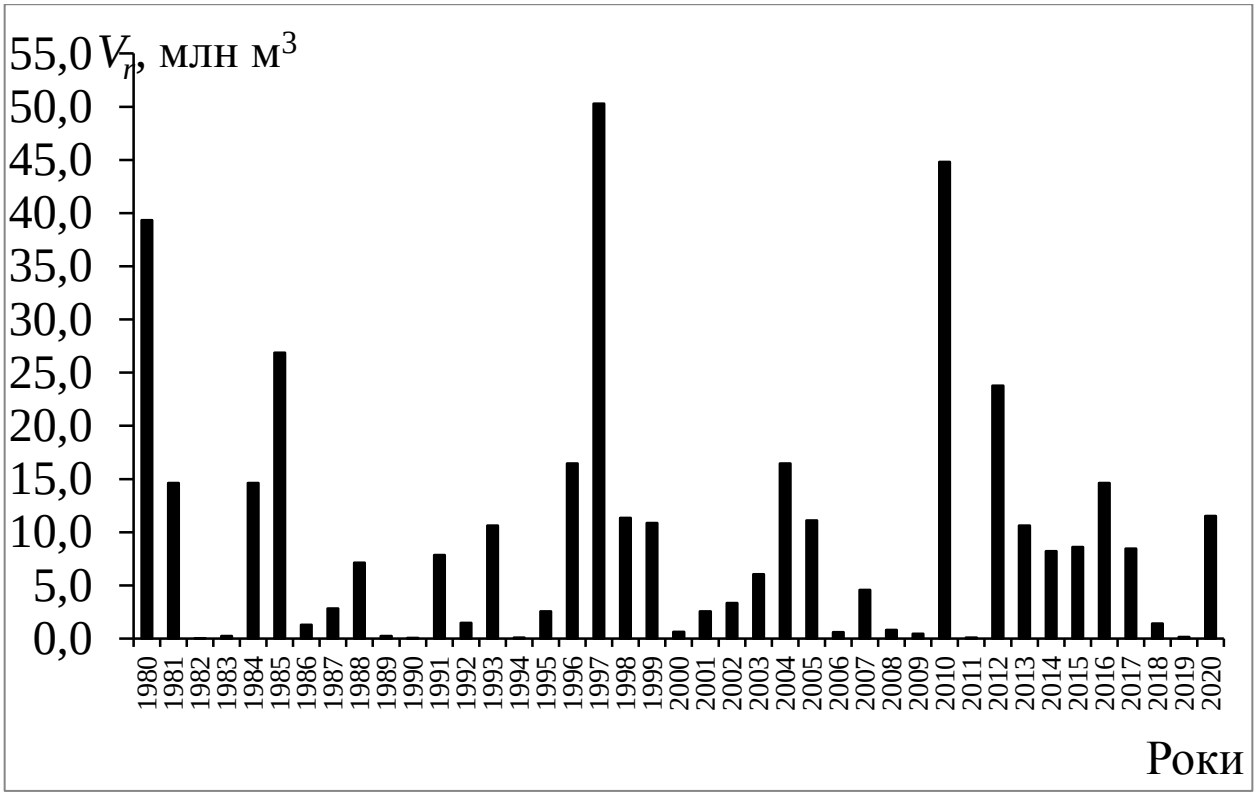


Рисунок 3.4 – Багаторічна мінливість об’ємів природного річного стоку озера Катлабух (1980-2020 рр.)

3.1.3 Бічний приплив поверхневих вод до озера

В роботі прийнято співвідношення між річковим V_{ri} та бічним V_{bi} припливом, що встановлено за даними проекту Tasis-2001 для озера Ялпуг-Кугурлуй і дорівнює 0,23 від річкового стоку. Тобто бічний приплив розрахований за формулою

$$V_b = 0{,}23 * V_r \quad . \tag{3.6}$$

Річні об’єми надходження бічного припливу води до озера Катлабух наведені у табл. 3.5.

На рис. 3.5 представлена багаторічна мінливість бічного припливу до озера Катлабух за період з 1980 по 2018 рр. [33], а також одержані автором роботи у 2019 і 2020 рр. [36].

Величини бічного припливу води змінювалися від нуля (1982, 1983, 1989, 1990, 1994, 2011, 2019 рр.) до 11,66 (1997 р.) млн м^3.

Таблиця 3.5 – Надходження бічного припливу води до озера Катлабух у 1980-2020 рр. (в млн м^3)

Роки	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
V_b, млн м^3	9,12	3,39	0,00	0,06	3,39	6,23	0,30	0,65
Роки	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
V_b, млн м^3	1,65	0,06	0,01	1,81	0,34	2,45	0,02	0,59
Роки	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
V_b, млн м^3	3,82	11,66	2,63	2,52	0,64	2,56	0,77	1,39
Роки	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
V_b, млн м^3	3,82	2,57	0,14	1,05	0,18	0,11	10,39	0,02
Роки	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
V_b, млн м^3	5,51	2,45	1,91	1,98	3,39	1,95	0,33	0,04
Роки	2020							
V_b, млн м^3	2,67							

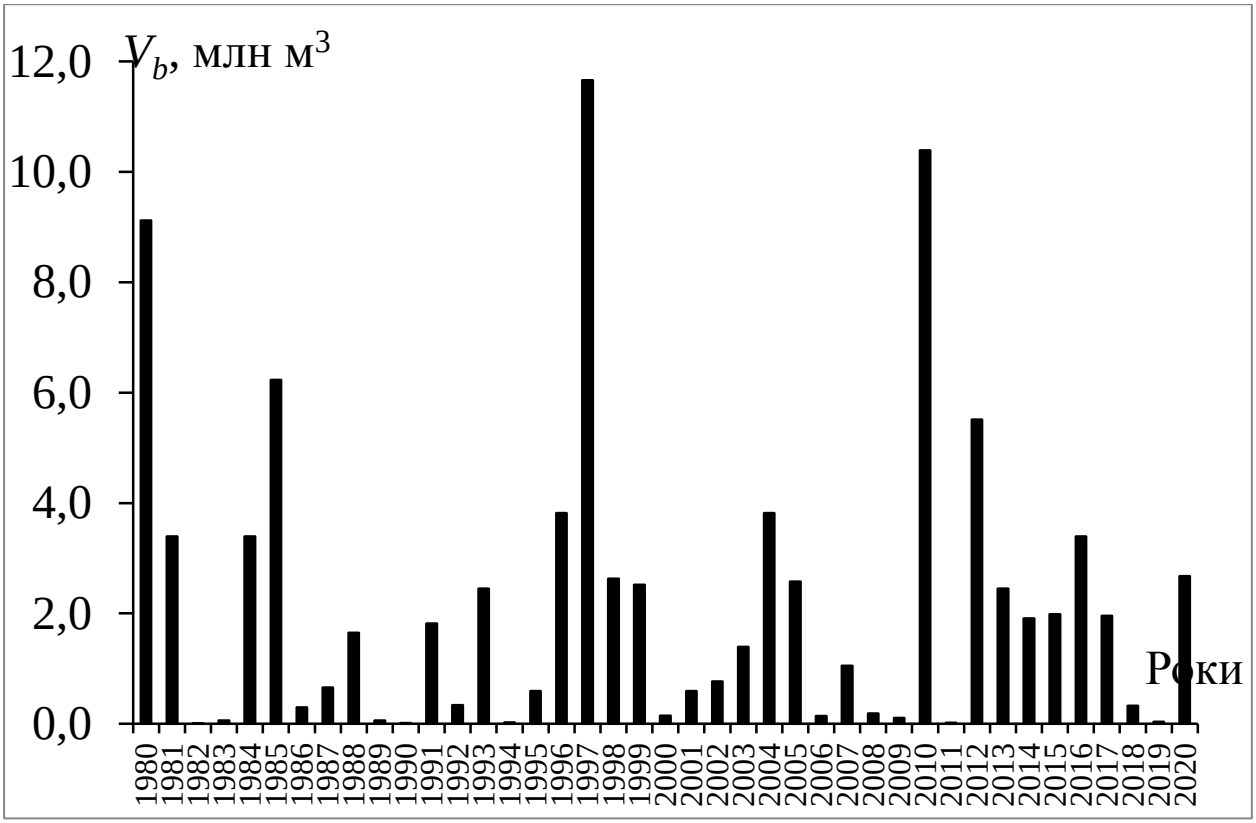


Рисунок 3.5 – Багаторічна мінливість об’ємів бічного припливу води до озера Катлабух (1980-2020 рр.)

3.1.4 Приплив ґрунтових вод

Ґрунтові води басейну озера, що дренуються по периметру водойми та ґрунтові води, які надходять із поверхневим стоком річок разом складають систему ґрунтового живлення озер.

У даній роботі для оцінки припливу ґрунтових вод до озера Катлабух використана генетична формула А.М. Бефані у вигляді [37]

$$\overline{Y_{gr}} = th[a_г(\frac{F}{F_{1кр}} - 1)^{\varepsilon}]U_0 \ , \qquad (3.7)$$

де $\overline{Y_{gr}}$ - шар стоку ґрунтового припливу води;

U_0 – норма інфільтрації, мм;

$a_г$ – гідрогеологічний параметр;

ε – параметр інтенсивності дренування водоносних горизонтів;

F – площа водозбору річки, км^2;

$F_{1кр}$ – початкова площа витоку річок – перша критична площа, км^2.

Для території Південно-Західної України та Молдови норма інфільтрації U_0 змінюється від 5,0 до 1,5 мм.

Гідрогеологічний параметр $a_г$, який залежить від геологічної будови, характеру порід, рекомендований рівним 0,20.

Перша критична площа $F_{1\ кр}$ є районованою величиною і для Придунайського регіону дорівнює 60 км^2.

За даними автора роботи [37] параметр ε прийнятий на рівні 0,25.

Загальна величина припливу води до озера з ґрунтових водоносних горизонтів V_{gr} становить 4,13 млн м^3, що одержана в роботі [33]. При поверхневій складовій надходження води до озера, що становить 9,15 млн м^3 частка ґрунтового припливу дорівнює 45% від цієї величини.

Характер розподілу ґрунтового стоку по місяцях в роки різної водності, виконаний за типовою схемою, що одержана Н.С. Лободою, використовуючи метод гідрологічної аналогії. Розподіл величини ґрунтового припливу (по місяцях) при розрахунках місячних водних балансах озера Катлабух наведений у табл. 3.6.

Таблиця 3.6 – Внутрішньорічний розподіл припливу ґрунтових вод (у % від річного) до озера Катлабух (V_{gr} =4,13 млн м^3)

Місяці / Водність	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Багатоводний	4,4	6,4	10,3	10,7	11,4	11,3	8,0	6,4	6,3	7,2	8,4	9,2
Середньоводний	7,4	10,3	12,6	12,3	12,5	6,5	5,2	5,8	6,5	7,7	7,4	5,8
Маловодний	3,9	4,7	5,1	5,2	5,4	6,0	8,0	9,3	11,0	13,4	13,5	14,5

3.1.5 Дренажні і комунально – побутові води

Приплив дренажних (у тому числі й комунально-побутових зворотних) вод V_{dr}, млн м^3 прийнятий за нормативом Басейнового управління водних ресурсів річок Причорномор'я та нижнього Дунаю як

$$V_{dr} = 0{,}2V_z, \tag{3.8}$$

де V_z – забір води на зрошування (застосовано також до інших видів водокористування), млн м^3.

На рис. 3.6 представлена багаторічна мінливість об'ємів припливу дренажних та комунально-побутових вод за 1980-2020 рр. Величини припливу дренажних та комунально побутових вод до озера Катлабух змінюються від 0,4 (2018 р.) і 0 (2019 р.) до 16,89 (1996 р.) млн м^3 і, відповідно заборам води на комунальні потреби, різко знизилися з 1997 р. Слід зазначити, що у 2020 року у зв'язку зі значними заборами води на зрощення (до 122 млн м^3) об'єми припливу дренажних та комунально-побутових вод значно підвищилась (до 15,9 млн м^3) [36].

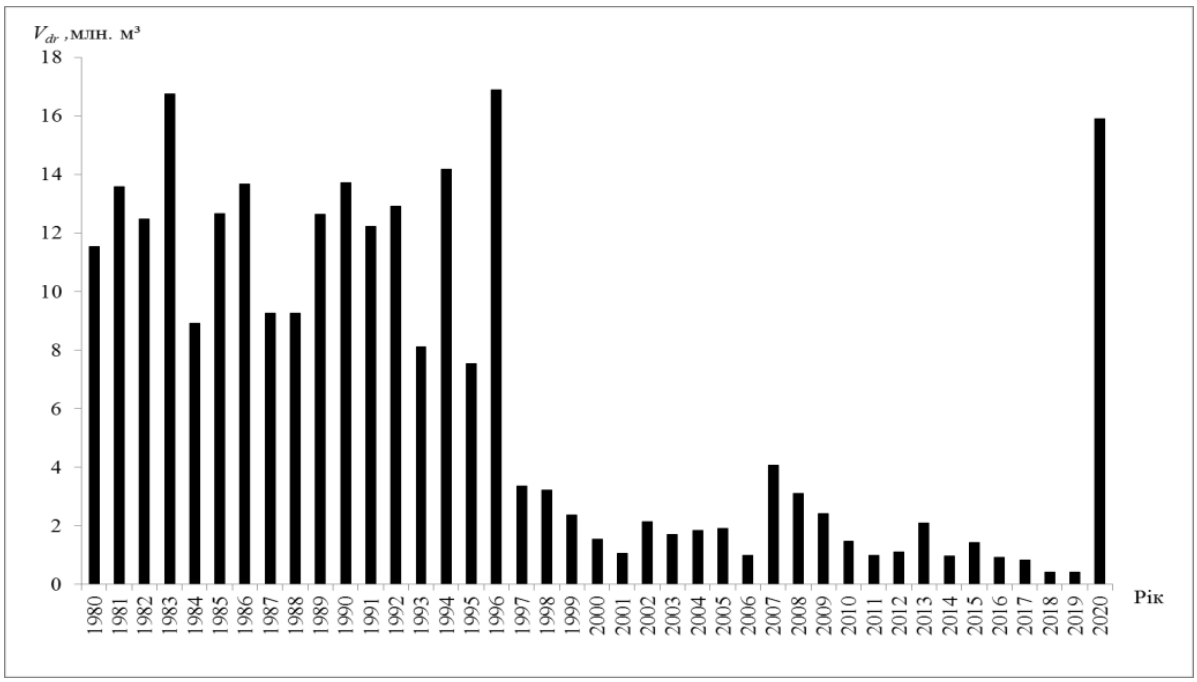


Рисунок 3.6 - Багаторічна мінливість об'ємів дренажних та комунально-побутових вод, що надходять до озера Катлабух (1980-2020 рр.)

3.2 Визначення витратної частини водних балансів

3.2.1 Випаровування з водної поверхні озера

Випаровування з водної поверхні водойм є витратною складовою їх водних балансів, що є особливо важливим чинником в умовах посушливого клімату півдня України. Для оцінки складової випаровування з водної поверхні озера Катлабух використовувались дані випаровувального басейну м/ст Болград. Середньобагаторічна величина випаровування за рік становить порядку 809 мм (1960-2020 рр.).

Об'єм випаровування з водної поверхні (млн м^3) розраховувався шляхом перемноження площі водного дзеркала F на шар випаровування E з поверхні озера для розрахункового місяця

$$V_{E_i} = E \cdot F_{дз} / 10^3, \tag{3.9}$$

де E – шар випаровування з водної поверхні, мм;

$F_{дз}$ – площа водного дзеркала (км^2), яка відповідає середньомісячному рівню води в озері $H_{сер}$ (м БС).

Для розрахунку водного балансу озера Катлабух місячні та річні величини випаровування за період 1960-2020 рр. наведені у табл. 3.7.

На рис. 3.7 представлена багаторічна мінливість об’ємів випаровування за рік з водної поверхні озера Катлабух з 1980 по 2020 рр. Об’єми випаровування змінюються від 44,6 (2004 р.) до 97,13 (2020 р.) млн м^3. Слід зазначити, що з 2014 р. має місце стала тенденція до зростання об’ємів випаровування води з водної поверхні.

Таблиця 3.7 – Розподіл об’ємів випаровування з водної поверхні (мм) озера Катлабух (за даними спостережень м/ст Болград, 1980-2018 рр.)

Роки	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
V_E, млн м^3	46,1	48,9	49,3	52,3	51,3	54,1	62,3	52,9
Роки	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
V_E, млн м^3	48,8	46,2	54,6	46,6	51,5	50,4	59,4	56,6
Роки	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
V_E, млн м^3	55,2	50,8	50,8	49,9	56,4	52,7	57,9	55,1
Роки	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
V_E, млн м^3	44,6	47,8	53,4	60,3	52,2	59,4	49,2	53,3
Роки	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
V_E, млн м^3	61,3	55,7	65,5	65,2	72,0	74,6	79,3	84,4
Роки	2020							
V_E, млн м^3	94,1							

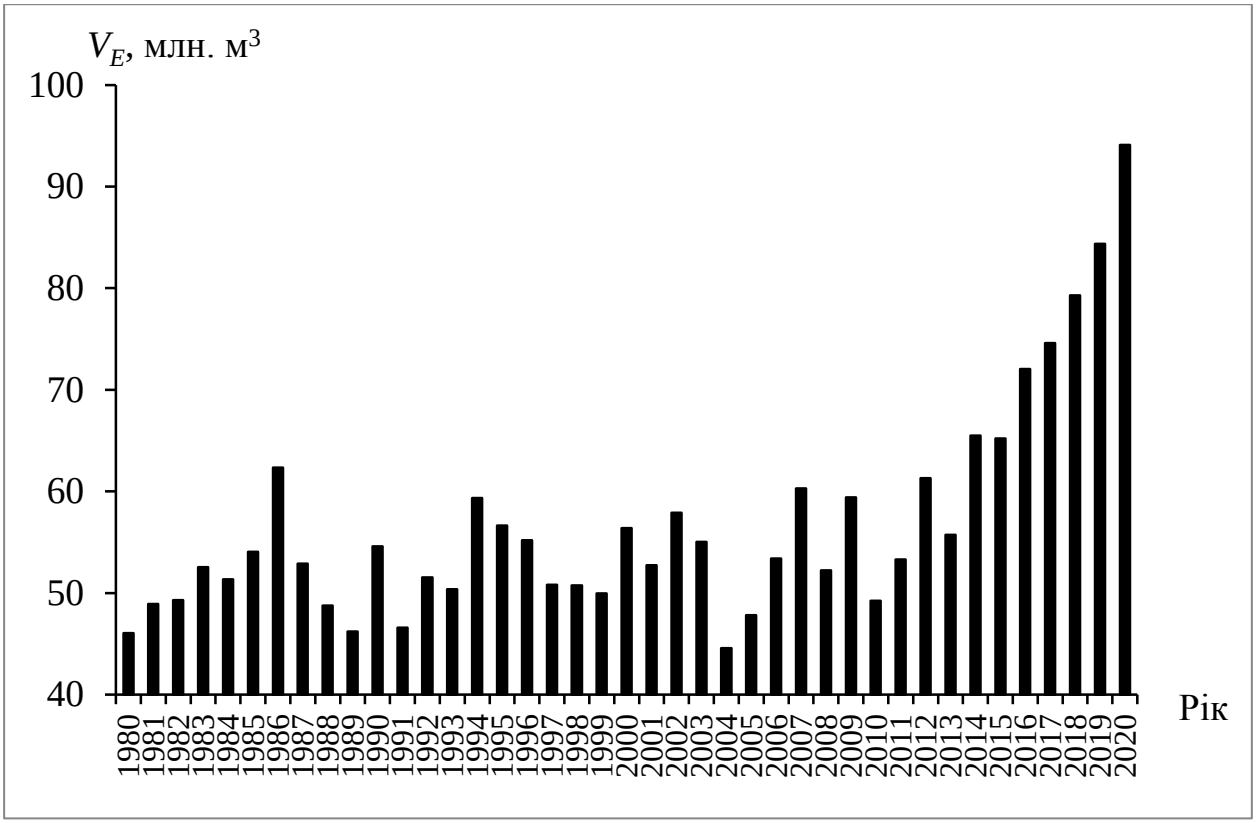


Рисунок 3.7 – Баготорічна мінливість об’ємів випаровування з водної поверхні озера Катлабух у період з 1980-2020 рр.

3.2.2 Транспірація водною рослинністю

Об’єми транспірації водною рослинністю розраховано при врахуванні площі заростей у розмірі 30%, за допомогою перехідного коефіцієнту, що дорівнює 1,14 (прийнято в роботі автора [33]). Випаровування з ділянок водної рослинності по місяцях (у % від суми за весь рік) наведена у табл. 3.8

Таблиця 3.8 – Випаровування з ділянок водної рослинності по місяцях (у % від суми за весь рік)

Зона	травень	Червень	липень	серпень	вересень	жовтень
Степова	7	23	27	25	15	3

На рис. 3.8 представлений багаторічний хід транспірації водною рослинністю. Об’єми транспірації водною рослинністю змінюються від

1,87 млн м^3 у 2004 р. до 4,01 млн м^3 у 2020 р. при тенденції їх зростання відповідно величинам випаровування.

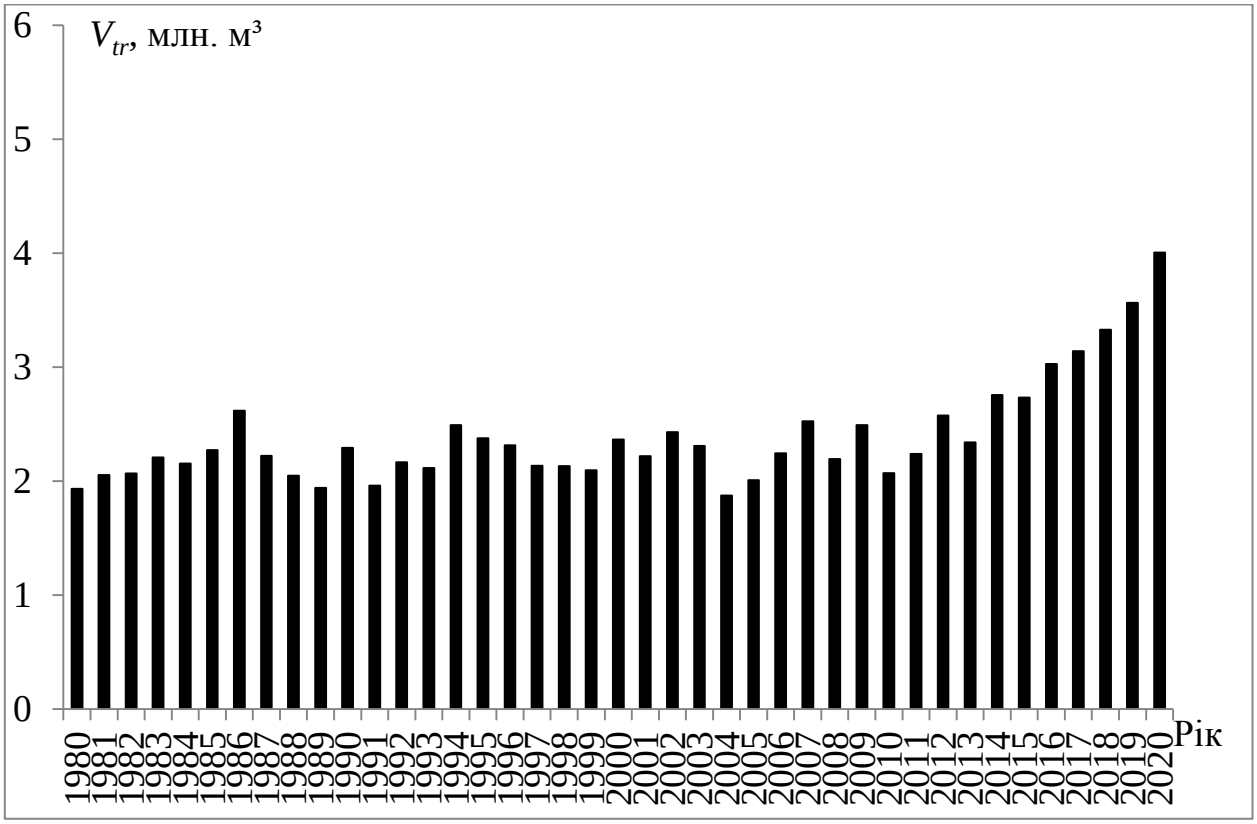


Рисунок 3.8 – Баготорічна мінливість об’ємів транспірації озера Катлабух у період з 1980-2020 рр.

3.2.3 Сумарний забір води з озера Катлабух

Сумарний забір води озера Катлабух на господарські потреби здійснюється головним чином на зрошування сільськогосподарських земель в його басейні. В умовах півдня України зрошування є одним з найважливіших водоємних споживачів.

Насосні станції водозабору розташовані відносно рівномірно по всій акваторії водойми – Суворовська ЗС – на півночі, Ізмаїльська та Кіровська – на півдні.

Ця величина отримана за даними прямих вимірювань по даних БУВР річок Причорномор’я та Нижнього Дунаю.

Основна частка водозаборів приходиться на період травень-вересень.

Основний забір об’ємів води озера на зрошування в 2019 року не здійснювались, а у 2020 р. становили 122 млн м^3 (з березня по серпень, та листопад і грудень).

Багаторічна мінливість об’ємів припливу дренажних вод до озера Катлабух за 1980-2020 рр. представлена на рис. 3.9. У роботі [33] представлено, що з 1997 року забори води для зрошування суттєво зменшилися, а з 2010 р. вони майже припинились, що стало головною причиною росту солоності озера та його гідроекологічного стану у гіршу сторону, в більшості через зменшення інтенсивності перемішування вод та погіршення водообміну і водооновлення вод в північній частині озера.

У 2019 р. об’єм заборів води на зрошення не було взагалі, а у 2020 р. він значно підвищився (до 79,5 млн м^3 з березня по серпень) [36].

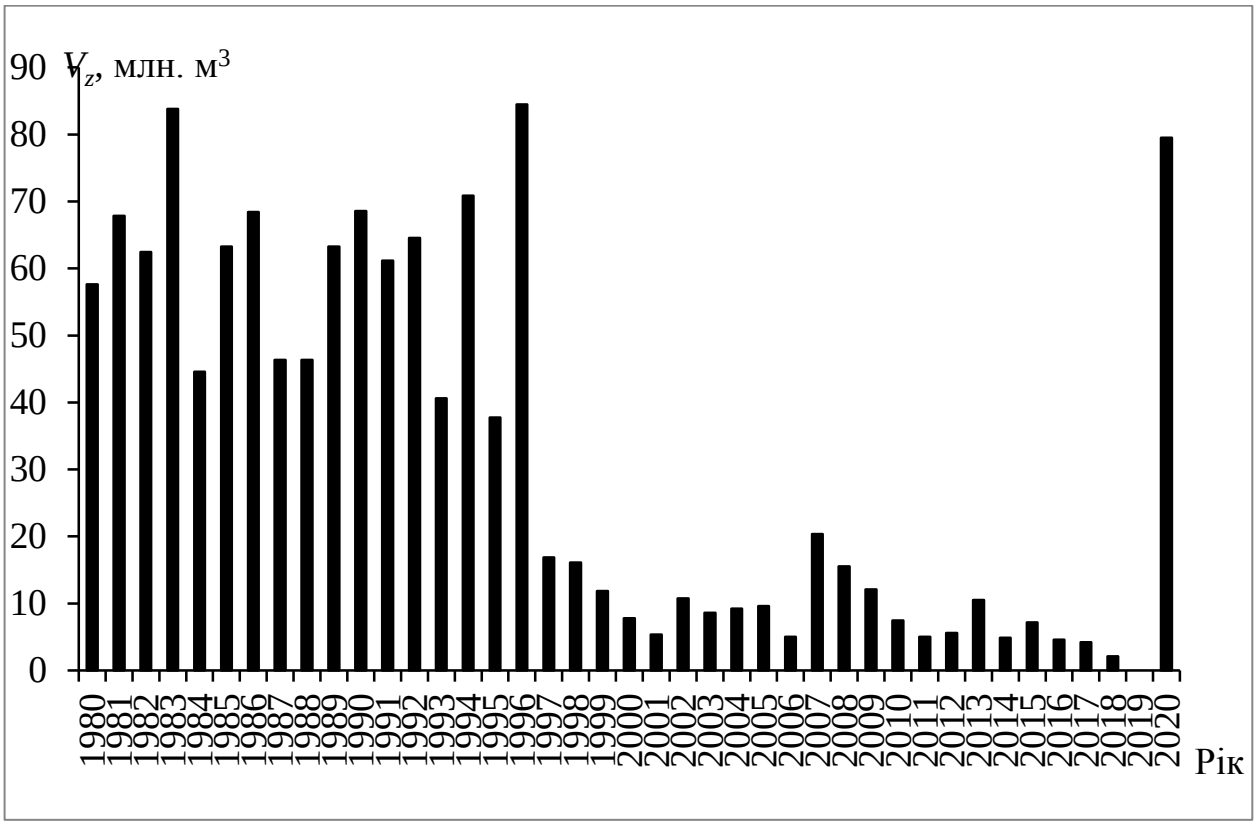


Рисунок 3.9 – Багаторічна мінливість заборів води з озера Катлабух (1980 -2020 рр.)

3.2.4 Фільтрація води в береги

Фільтрація води в береги визначена на підставі розрахункових даних Басейнового управління водних ресурсів річок Причорномор'я та нижнього Дунаю. При площі водного дзеркала озера Катлабух дорівнює 68,5 км^2 при НПР, річна фільтрація становить 6,6 млн м^3, а в середньому за місяць дорівнюватиме 0,55 млн м^3.

Розподіл середньої величини фільтрації по місяцях розраховується в залежності від коливань рівня води в озері за формулою

$$(\overline{V}_f)_i = 0{,}55(\overline{H}_i / \overline{H}), \qquad (3.10)$$

де $(\overline{V}_f)_i$ – середня величина фільтрації *i*-го місяця, млн м^3,

$\overline{H}_i$ та $\overline{H}$ – середній рівень води *i*-го місяця і середній річний рівень води в озері, мБС.

3.3 Надходження води р. Дунай до озера Катлабух та скиди води з озера в р. Дунай

Водообмін озера Катлабух з р. Дунай відбувається у регульованому режимі відповідно коливань рівнів води на Дунаї та пропускної спроможності шлюзів каналу Желявський. Безпосередньо достовірних даних про об'єми води, що надходять з р. Дунай та скидаються до річки, а також водообмін з озерами Лунг-Саф'ян немає, тому вони були обчислені зворотним шляхом з рівняння водного балансу.

Як бачимо, скиди води з озера до р. Дунай з 90-х років значно зменшились, у зв'язку зі зниженням рівнів води в озері.

Водообмін озера Катлабух з р. Дунай відбувається у регульованому режимі - у періоди високих рівнів води на р. Дунай (лютий-травень) відбувається наповнення озера Дунайською водою самопливним шляхом до

НПР, що дорівнює 1,7 мБС., в періоди меженних рівнів води на р. Дунай (вересень-жовтень), при відкритті шлюзів відбуваються скиди води з озера Катлабух до р. Дунай до РМО = 0,7 мБС.

Коли достовірних даних про водообмін р. Дунай та озера Катлабух по шлюзах регуляторах немає, то вони можуть бути обчислені зворотним шляхом з рівняння водного балансу для *i*-го місяця:

- при наповнені озера Катлабух Дунайською водою

$$V_{D_i} = \sum_{B} V_i - (\sum_{П} V_i)' \pm \Delta W_i, \qquad (3.11)$$

- при скидах води з озера Катлабух до р. Дунай

$$V_{D_i'} = \sum_{П} V_i - (\sum_{B} V_i)' \pm \Delta W_i, \qquad (3.12)$$

де V_{D_i} - надходження води з р. Дунай до озера Катлабух у цьому випадку включає і нев'язку рівняння водного балансу;

$V_{D_i'}$ - скиди води з озера до р. Дунай, які у цьому випадку включають і нев'язку рівняння;

$\sum_{П} V_i$ - приходна частина водного балансу;

$\sum_{B} V_i$ - витратна частина водного балансу;

$\left(\sum_{П} V_i\right)'$- приходна частина водного балансу, за винятком надходження води з р. Дунай;

$\left(\sum_{B} V_i\right)'$ - витратна частина водного балансу, за винятком скидів води з озера в р. Дунай;

ΔW_i - зміни об’ємів води в озері за розрахункові періоди, акумуляція води.

Розраховані об’єми води, що надходять з р. Дунай до озера Катлабух за період з 1980 по 2020 р. наведені на рис. 3.10, а об’єми води, що скидають з озера до р. Дунай - на рис. 3.11. В цілому можна відмітити, що з 90-х років минулого сторіччя відбувається зменшення як об’ємів наповнення (в окремі роки) (рис. 3.10), так і об’ємів скидів води з озера до р. Дунай (рис. 3.11), які зазвичай здійснюються в осінній період.

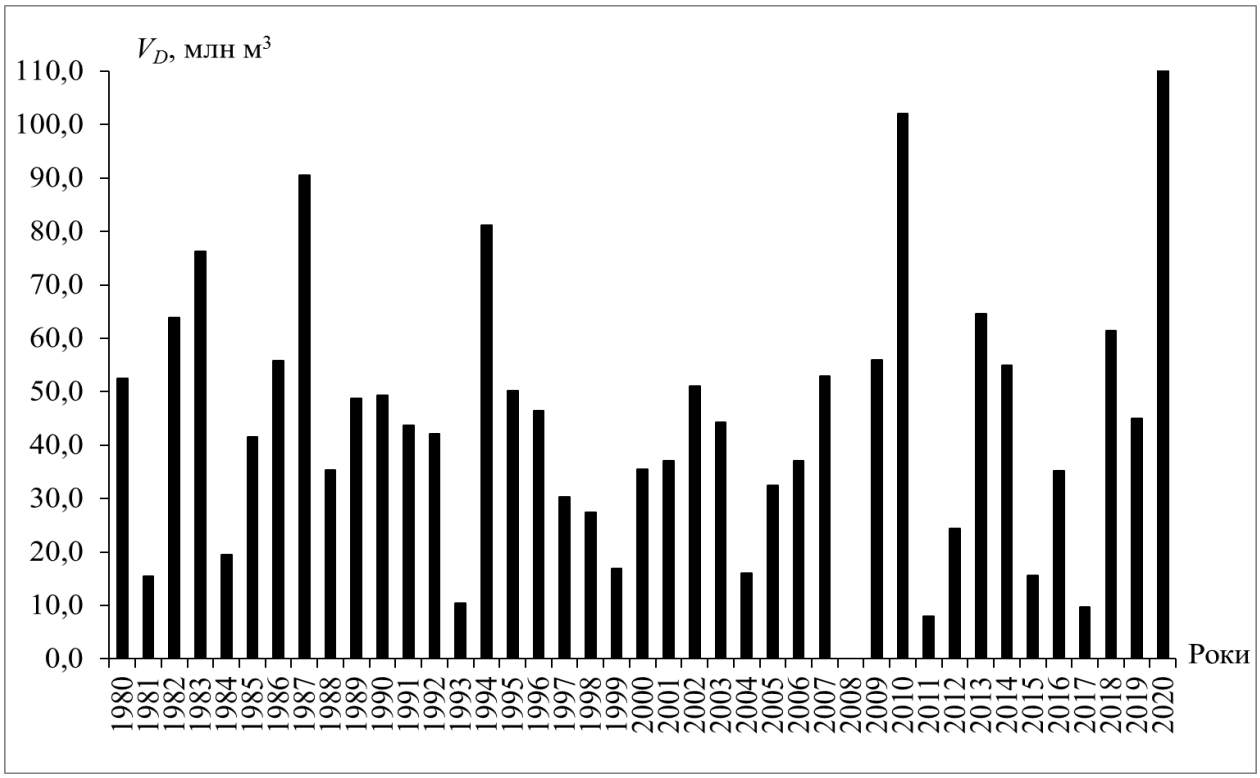


Рисунок 3.10 – Багаторічна мінливість об’ємів води, що надходить до озера Катлабух з р. Дунай у період 1980-2020 рр.

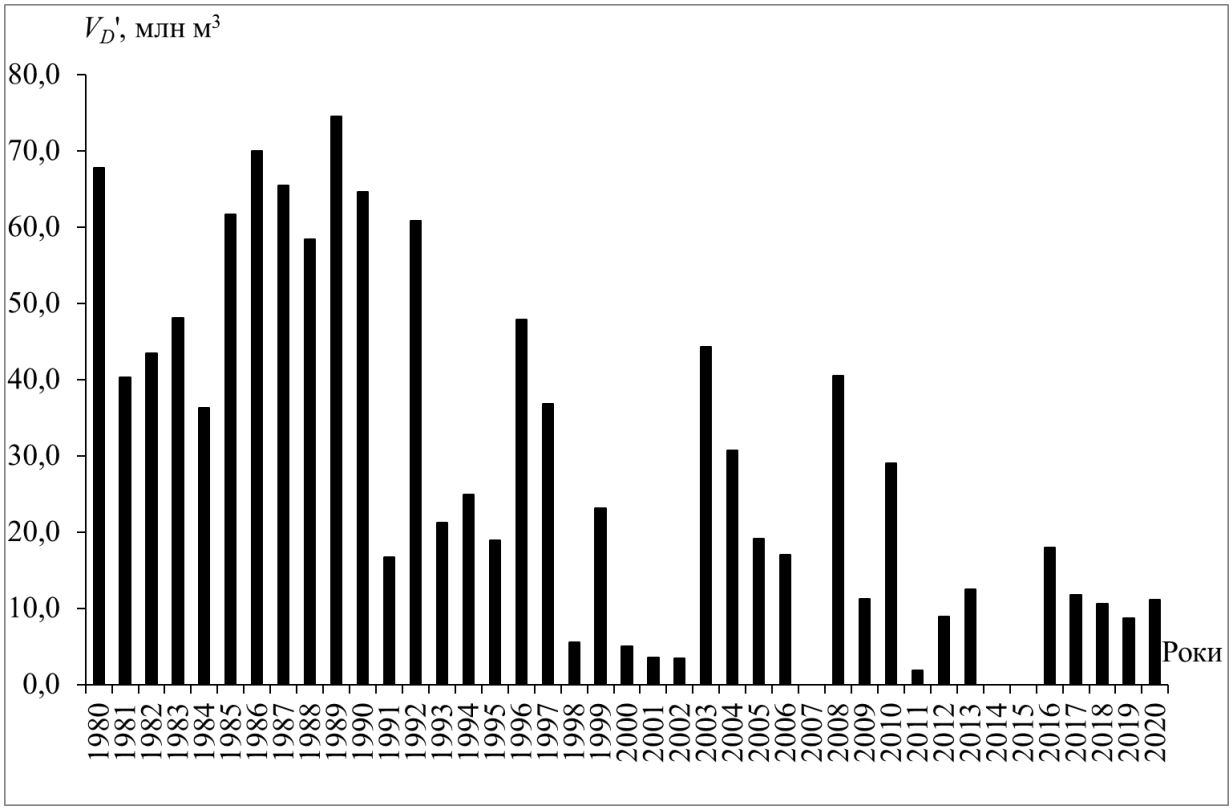


Рисунок 3.11 - Багаторічна мінливість об’ємів води, що скидаються з озера Катлабух до р. Дунай у період 1980-2020 рр.

3.4 Оцінка нев’язок водних балансів

Відносну нев’язку (у %) обчислюють після розрахунку рівняння водного балансу. Рівняння балансу визначають з абсолютними значеннями, без урахування знака складових балансу.

Критерій достовірності розрахунків водних балансів не повинна перевищувати допустимих меж, якими для місячних водних балансів (зокрема, озера Катлабух) слід вважати нев’язку рівну $\pm H \leq 5\%$ [18].

Величину нев’язки для *i*-го місяця було встановлено за рівнянням

$$\Delta V_{нi} = \sum_{П} V_i - \sum_{В} V_i \pm \Delta W_i \,, \tag{3.13}$$

де $\Delta V_{нi}$ - нев’язка водного балансу;

$\sum_{П} V_i$ - приходна частина водного балансу;

$\sum_{B} V_i$ - витратна частина водного балансу;

ΔW_i - зміна об'єму води в озері за розрахунковий період.

Під час тривалих водообмінів між р. Дунай і водоймою (маються на увазі наповнення озера дунайською водою і зворотні скиди) об'єми води знаходяться зворотнім шляхом із рівнянь (3.11) і (3.12). В такому разі усі погрішності визначення складових приходної і витратної частин включені до складових V_{D_i} або V_{D_i}'.

В цілому у період закритих шлюзів на каналах оцінки нев'язок місячних водних балансів озера Катлабух за розглядуваний період, виражені у відсотках від приходної частини балансів не перевищують допустиму нев'язку $\pm$5%. Графік нев'язок річних водних балансів озера Катлабух в період 1980-2020 рр., у млн м^3 показаний на рис.3.12.

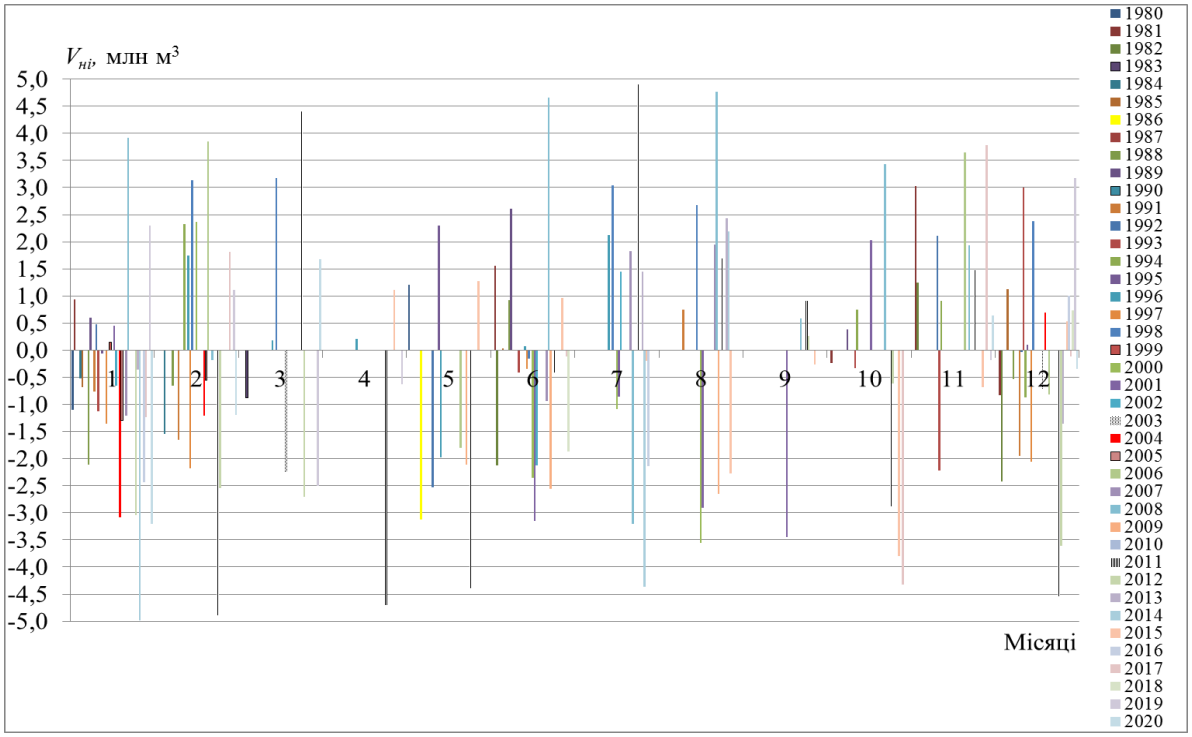


Рисунок 3.12 – Графік нев'язок річних водних балансів озера Катлабух в період 1980-2020 рр., у млн м^3

3.5 Узагальнена оцінка складових у рівняннях водних балансів

Результати розрахунків водних балансів показали, що основний об’єм приходної частини (рис. 3.13) за 1980-2020 рр. становлять атмосферні опади (35,9%) та надходження води з р. Дунай (42,5%), об’єм річкового припливу дорівнює 8,8%, об’єми вод бічного припливу, ґрунтових та дренажних вод становлять 2,1%, 4,9%, 6,5% відповідно. У витратній частині (рис. 3.14) основний об’єм припадає на випаровування разом з транспірацією (53,0%), об’єми заборів води на зрошування, на скиди води до р. Дунай та фільтрацію становлять 21,1%, 19,4% та 5,8% відповідно.

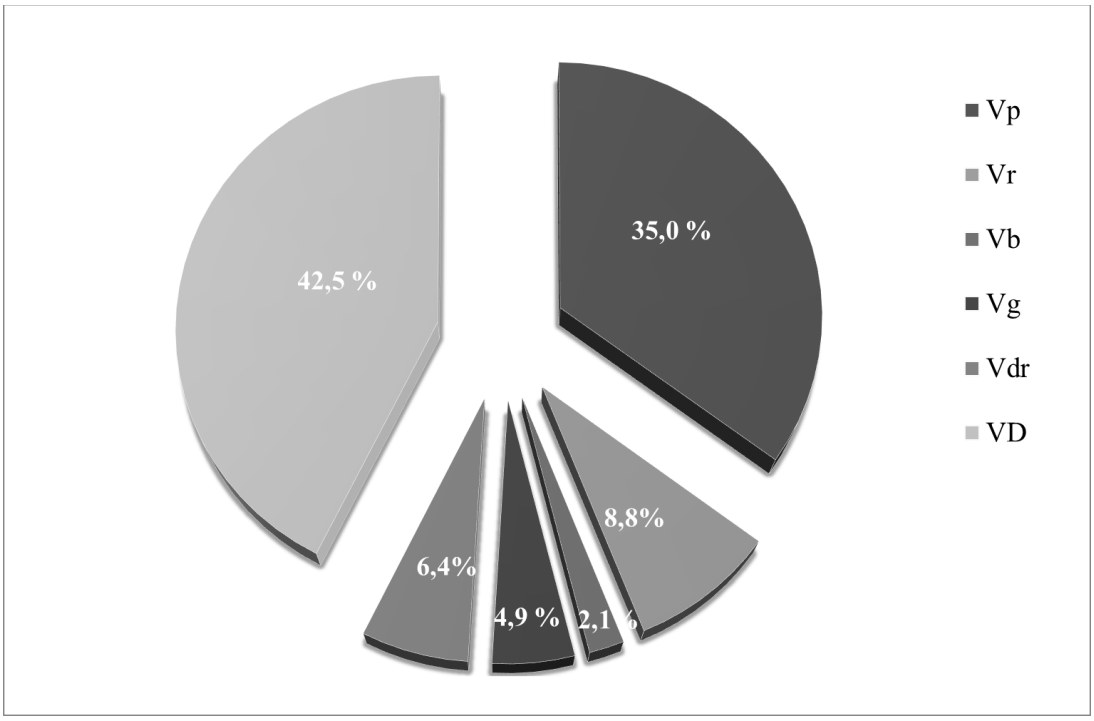


Рисунок 3.13 – Складові приходної частини водного балансу озера Катлабух (у %) в середньому за період 1980-2020 рр.

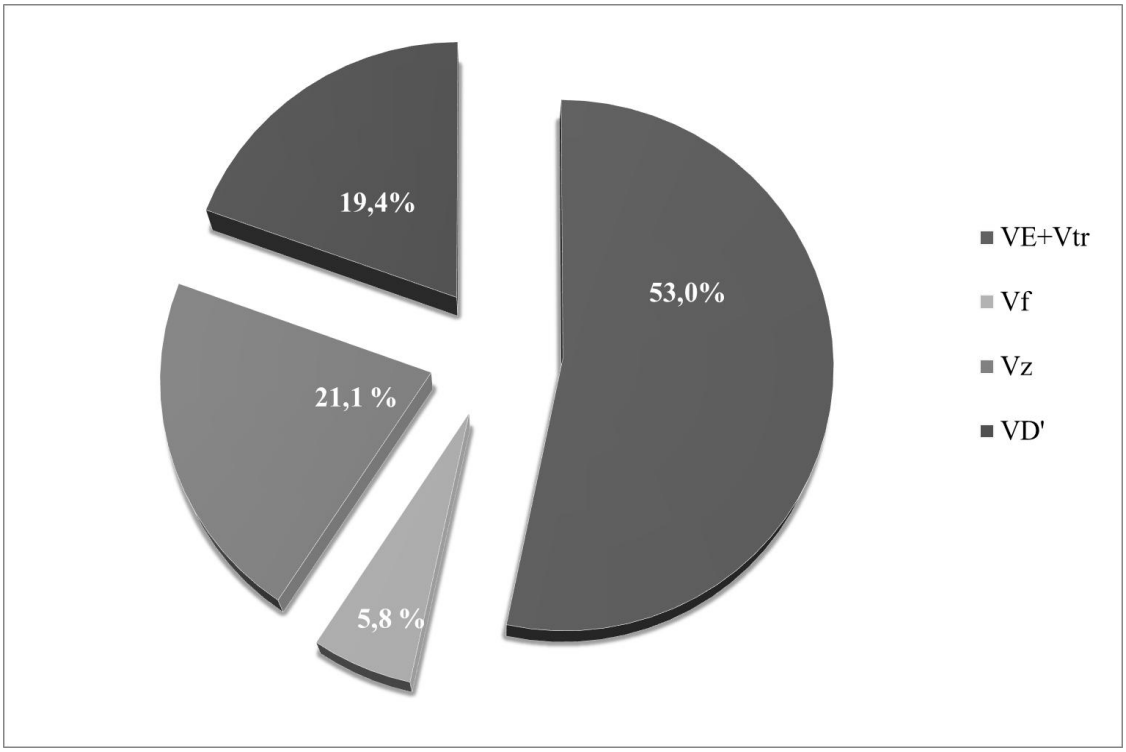


Рисунок 3.14 – Складові витратної частини водного балансу озера Катлабух (у %) в середньому за період 1980-2020 рр.

Багаторічна мінливість складових приходної і витратної частин водних балансів озера Катлабух з 1980 по 2020 рр. представлені на рис. 3.15 і 3.16. Як видно з рис. 3.16, з 1997 року господарські забори води на зрошування і, відповідно, об’єми припливу дренажних вод, значно зменшилися, а з 2010 р. вони майже припинились. Це стало головною причиною підвищення солоності вод озера та погіршення його гідроекологічного стану, в основному через зниження інтенсивності перемішування вод та послаблення водообміну і водооновлення вод в північній частині озера. Крім того, скиди води з озера в р. Дунай з початку 1990-х років значно зменшилися, що було ще одним чинником погіршення умов водообміну в водоймі. При цьому забір об’ємів води озера на зрошування в 2019 року не здійснювались, а у 2020 р. становили 122 млн м^3 (з березня по серпень - 79,5 млн м^3 та листопад і грудень – 42,5 млн м^3) .

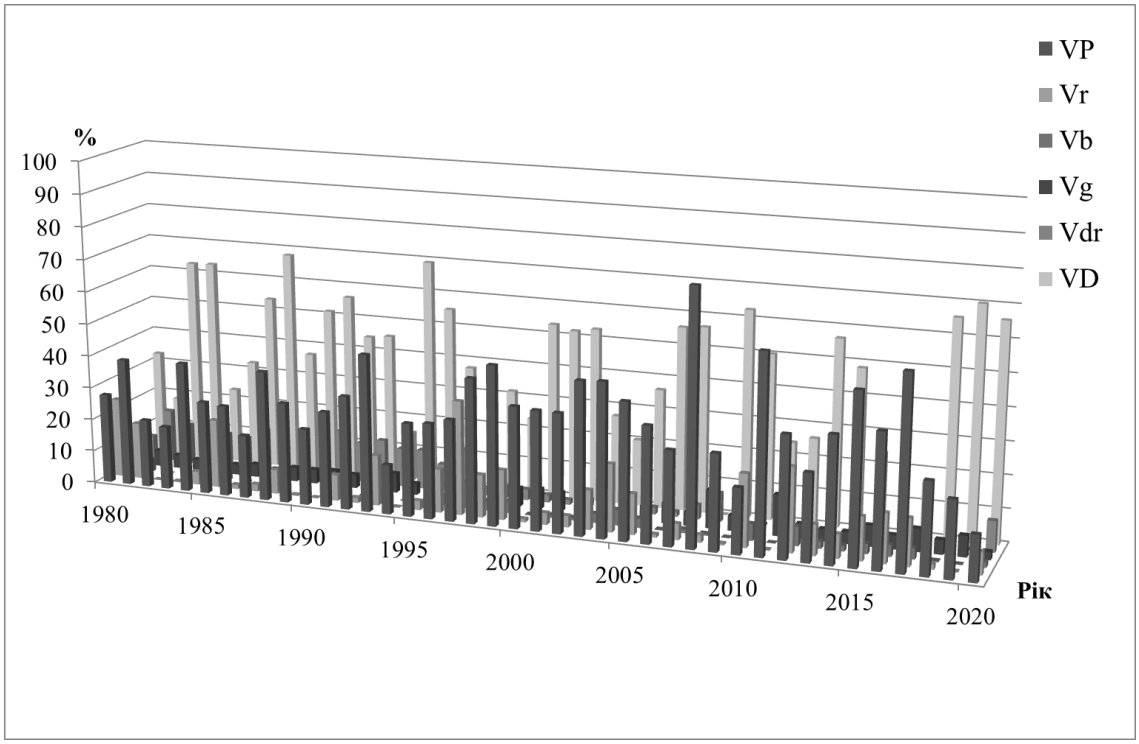


Рисунок 3.15 - Багаторічна мінливість складових приходної частини водних балансів озера Катлабух з 1980 по 2020 рр.

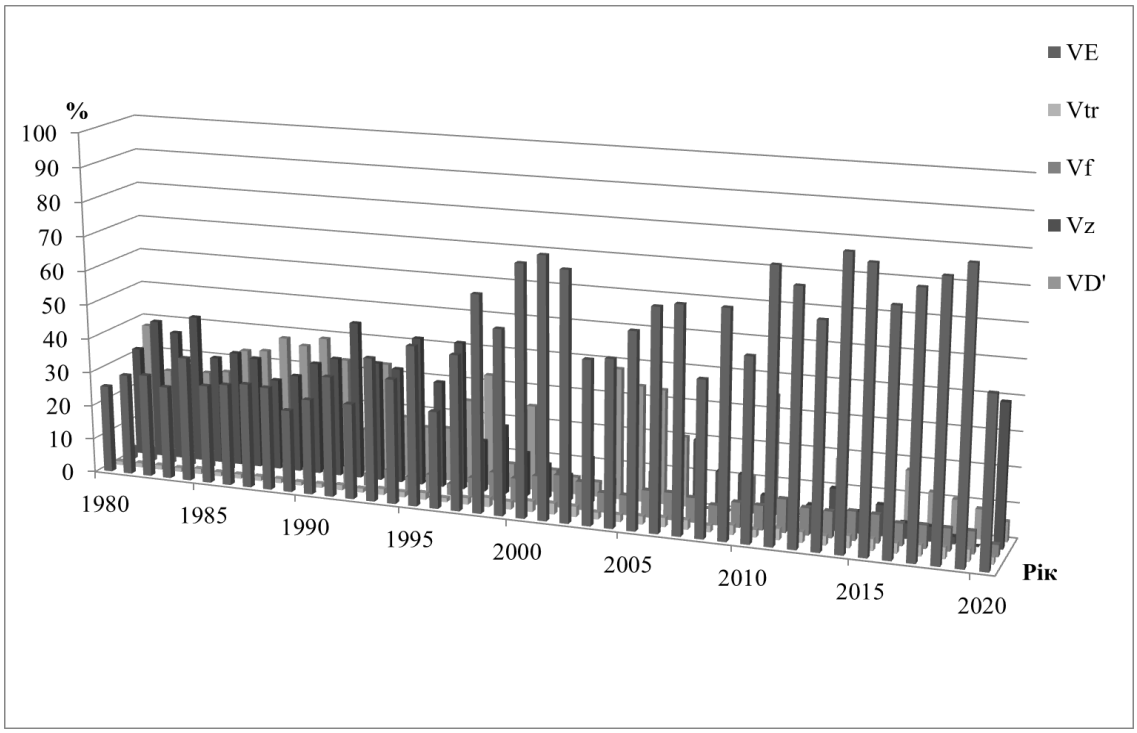


Рисунок 3.16 - Багаторічна мінливість складових витратної частини водних балансів озера Катлабух з 1980 по 2020 рр.

4 Сольовий баланс озера Катлабух

4.1 Мінералізація води окремих складових рівняння сольового балансу

Середньорічна мінералізація атмосферних опадів для досліджуваної території відповідно досліджень авторів В.І.Пелешенка та В.К.Хільчевського [38,39] становить в північній частині 32,5-35 мг/дм^3, а в південній – 35-40 мг/дм^3 , а середньому для озера Катлабух прийнята на рівні 35 мг/дм^3.

Багаторічна мінливість мінералізації річок, які впадають у озеро, за даними епізодичних вимірів за багаторічний період (1999-2018 рр.) показана на графіку (рис.4.1).

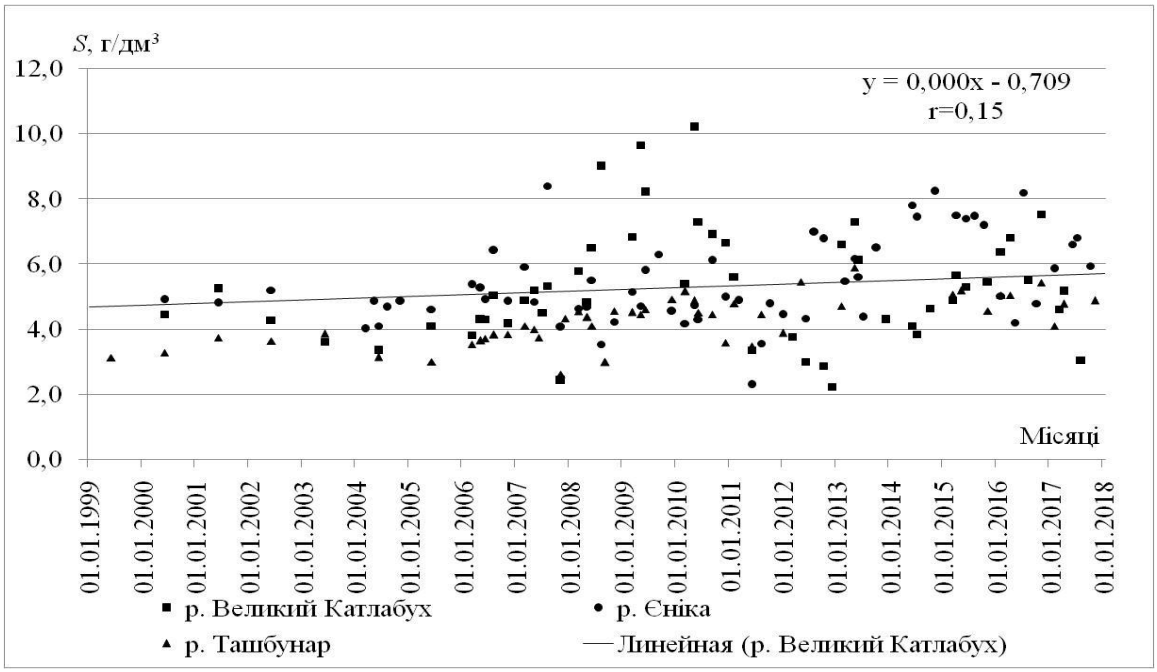


Рисунок 4.1 – Багаторічна мінливість мінералізації річок, що впадають в озеро Катлабух [33]

Можна бачити, що спостерігається деяке зростання мінералізації у багаторічний період, а в окремих роках вона сягає 8-10 г/дм^3. За класифікацією О.О. Алекіна [26] це води з високою мінералізацією, тобто більш ніж 1000 мг/дм^3.

Місячна мінералізація річок (S_r) встановлена в роботі [33] в залежності від об'ємів річного стоку V_r за рівнянням

$$S_r = 5{,}12 \cdot \exp(-0{,}021 \cdot V_r) \quad . \tag{4.1}$$

Зміни мінералізації води рр. Великий Катлабух, Ташбунар та Єніка при різних об'ємах надходження річкових вод представлені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Значення мінералізації води річок Великий Катлабух, Ташбунар і Єніка [33]

V_r, 10^6м^3	0,05	0,1	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
S_r, г/дм^3	5,11	5,11	5,07	5,01	4,91	4,81	4,71	4,61	4,51

Мінералізація вод бічного припливу S_b встановлена за матеріалами інтегрованого моніторингу проекту Tacis 2001 р. для басейну озер Ялпуг-Кугурлуй за співвідношенням

$$S_b = 0{,}57 S_r \quad , \tag{4.2}$$

де S_r – мінералізація води в річках, які впадають у озера Катлабух.

Мінералізація ґрунтових вод S_{gr} прийнята за даними Відокремленого підрозділу «Причорноморський центр водних ресурсів та ґрунтів» БУВР річок Причорномор'я і нижнього Дунаю прийнята на рівні 2,60 г/дм^3.

Мінералізація дренажних вод S_{dr} встановлена за даними Басейнового управління водних ресурсів річок Причорномор'я та нижнього Дунаю для озера Катлабух прийнята на рівні 2,00 г/дм^3.

Мінералізація води, що витрачається на фільтрацію S_f, на зрошування та інші види користування S_z (враховуючи мінералізацію води, що витрачається на підтримку рівнів води в системі Лунг-Саф'ян S_{oz}) приймалися як середні по озеру для розрахункових місяців.

Мінералізація води, що надходить з р. Дунай $S_{D'}$ прийнята за даними її вимірів – в середньому на рівні 0,39 г/дм^3.

Мінералізація води, що скидається до р. Дунай розраховувалась за співвідношенням:

$$S_{D'} = 0{,}82 \cdot S, \tag{4.3}$$

де $S_{D'}$ – мінералізація води озера в його південній частині;

S – середня розрахункова мінералізація у межах водойми на початок поточного місяця.

4.2 Результати розрахунків сольових балансів озера Катлабух

Дослідження сольових балансів озера Катлабух виконувалось за період 1980-2020 рр., базуючись на рівнянні (2.6) при урахуванні мінералізації окремих складових балансів і їх об'єму води, одержаних в водному балансі озера. Розрахункова одиниця часу становить один місяць.

Етапи розрахунків сольових балансів наступні:

1. Початкова мінералізація для першого місяця 2019 року прийнята кінцева мінералізація для 2018 року.
2. На основі рівняння (2.6) розраховується кінцева мінералізація для першого місяця, яка стає початковою для другого розрахункового місяця.

За такою схемою здійснювалися розрахунки сольових балансів для місяців і років всього багаторічного періоду – 1980-2018 рр. [33], а в роботі автора - у 2019 та 2020 рр.

Також, за даними табл.4.1 вклад кількості солей (у %), що надходять зі складовими прибуткової або витрачаються із витратними частинами водних балансів озера Катлабух в середньому за період 1980-2020 рр. представлений у вигляді кругових діаграм на рис. 4.4 і рис. 4.5, відповідно [36].

В цілому можна сказати, що найбільший відсоток у приходних частинах сольових балансів у 1980-2020 рр. (табл.4.1, рис.4.2) складає надходження солей разом з поверхневим стоком річок Великий Катлабух, Ташбунар і Єніка (від 0,1% – у 1982 р. до 82,5% – у 1997 р.) та надходження солей разом з дунайською водою - від 0% (2011 р.) до 86,9% (1994 р.). Приплив солей разом з іншими складовими значно нижчий. В середньому ж за багаторічний період у приходній частині надходження солей з поверхневим стоком річок становить 42,8%, води з р. Дунай – 34,9%, з опадами у середньому надходить близько 3,8%. З ґрунтовими водами, бічним припливом та дренажними водами надходить відповідно 10,6%, 5,6% та 4,1% солей (рис.4.4).

Витратна частина (табл.4.2, рис. 4.3) у найбільшій мірі обумовлена скидами води (а разом і солей) у р. Дунай, за виключенням 2001, 2007, 2011, 2014 та 2015 рр., коли майже не було скидів і у середньому становить 35,5% (рис.4.5). Витрати солей при заборі води на зрошування, рибне господарство та інші види користування складають від 0% і 10,7% (2019 і 2018 рр.) до 76,4% (у 1991 р.) і 82,7% (у 2020 р.), при середніх значеннях 45,6%. Витрата солей з фільтрацією становила від 4,5-4,9% (у 1985, 1990 і 2020 рр.) до 58,6% (у 2014 р.), а в середньому – 18,9%.

Таблиця 4.2 – Складові приходної та витратної частин сольових балансів озера Катлабух (у %) за період 1980-2020 рр.

Рік	Приходна частина						Витратна частина		
	C_p	C_r	C_b	C_{gr}	C_{dr}	C_D	C_f	C_z	$C_{D'}$
1980	0,7	78,1	10,2	1,1	0,5	9,4	5,1	59,9	35,0
1981	1,3	77,9	10,2	2,7	1,2	6,7	5,3	64,2	30,5
1982	2,5	0,1	0,0	8,4	3,8	85,1	5,7	61,8	32,5
1983	2,3	3,5	0,5	6,9	3,1	83,7	4,7	66,8	28,5
1984	1,3	76,6	10,0	2,7	1,2	8,2	6,1	56,1	37,8
1985	0,8	76,8	10,1	1,5	0,7	10,1	4,6	54,2	41,2
1986	3,0	19,5	2,6	7,3	3,3	64,4	5,3	54,4	40,3
1987	1,6	25,5	3,3	4,4	2,0	63,1	6,0	45,8	48,1
1988	2,3	59,9	7,9	4,3	1,9	23,8	6,0	49,6	44,3
1989	4,1	5,0	0,7	9,9	4,4	75,9	5,1	56,1	38,7
1990	3,0	1,2	0,2	10,4	4,6	80,6	4,5	56,7	38,8
1991	1,6	58,9	7,7	3,8	1,7	26,3	6,2	76,4	17,4
1992	3,9	25,2	3,3	8,4	3,7	55,6	5,3	53,5	41,2
1993	1,8	76,6	10,0	3,7	1,7	6,2	7,9	64,0	28,1
1994	1,7	1,4	0,2	6,8	3,0	86,9	6,5	72,7	20,9
1995	2,3	33,4	4,4	6,4	2,8	50,6	10,0	62,9	27,1
1996	1,1	70,3	9,2	2,2	1,0	16,1	3,6	68,6	27,8
1997	0,6	82,5	10,8	1,0	0,4	4,7	10,2	29,2	60,6
1998	1,7	70,8	9,3	3,1	1,4	13,6	23,3	59,1	17,6
1999	1,7	74,4	9,8	3,4	1,5	9,2	17,4	31,3	51,4

Продовження табл. 4.2

Рік	Приходна частина						Витратна частина		
	C_p	C_r	C_b	C_{gr}	C_{dr}	C_D	C_f	C_z	$C_{D'}$
2000	3,9	14,9	1,9	11,3	5,0	63,0	35,0	39,5	25,5
2001	2,7	38,5	5,0	7,4	3,3	43,1	44,0	34,6	21,4
2002	2,8	37,8	5,0	5,6	2,5	46,4	37,8	62,2	0,0
2003	1,2	44,4	5,8	3,7	1,6	43,1	33,7	46,0	20,3
2004	1,2	75,2	9,9	2,4	1,0	10,3	21,7	28,4	49,9
2005	1,7	68,8	9,0	3,1	1,4	16,0	20,4	29,7	49,9
2006	3,7	13,8	1,8	11,1	4,9	64,8	25,7	19,2	55,1
2007	1,4	34,3	4,5	16,2	12,3	31,2	22,8	68,9	8,4
2008	2,5	10,8	1,4	28,4	16,4	40,4	11,4	24,5	64,0
2009	2,2	5,7	0,7	26,2	11,8	53,3	22,9	38,6	38,4
2010	0,5	70,4	9,2	4,0	1,1	14,8	15,4	17,5	67,1
2011	5,0	2,9	0,4	77,3	14,5	0,0	56,1	43,9	0,0
2012	74,3	74,3	9,7	7,2	1,5	6,4	18,6	16,8	64,5
2013	1,1	51,4	6,7	10,9	4,3	25,6	23,8	36,8	39,4
2014	1,9	49,3	6,6	13,3	2,4	26,5	58,6	41,4	0,0
2015	1,7	61,2	8,0	15,9	4,2	9,0	48,8	51,2	0,0
2016	1,3	65,6	8,6	10,0	1,7	12,8	23,7	16,5	59,8
2017	1,9	64,2	8,4	16,9	2,6	5,9	31,3	18,9	49,8
2018	2,0	16,2	2,1	24,1	1,9	53,7	37,5	10,7	51,8
2019	1,8	2,8	0,4	35,9	0,0	59,2	29,9	0,0	70,1
2020	0,5	33,6	4,4	6,4	29,1	26,0	4,9	82,7	12,4
Середнє	3,8	42,8	5,6	10,6	4,1	34,9	18,9	45,6	35,5

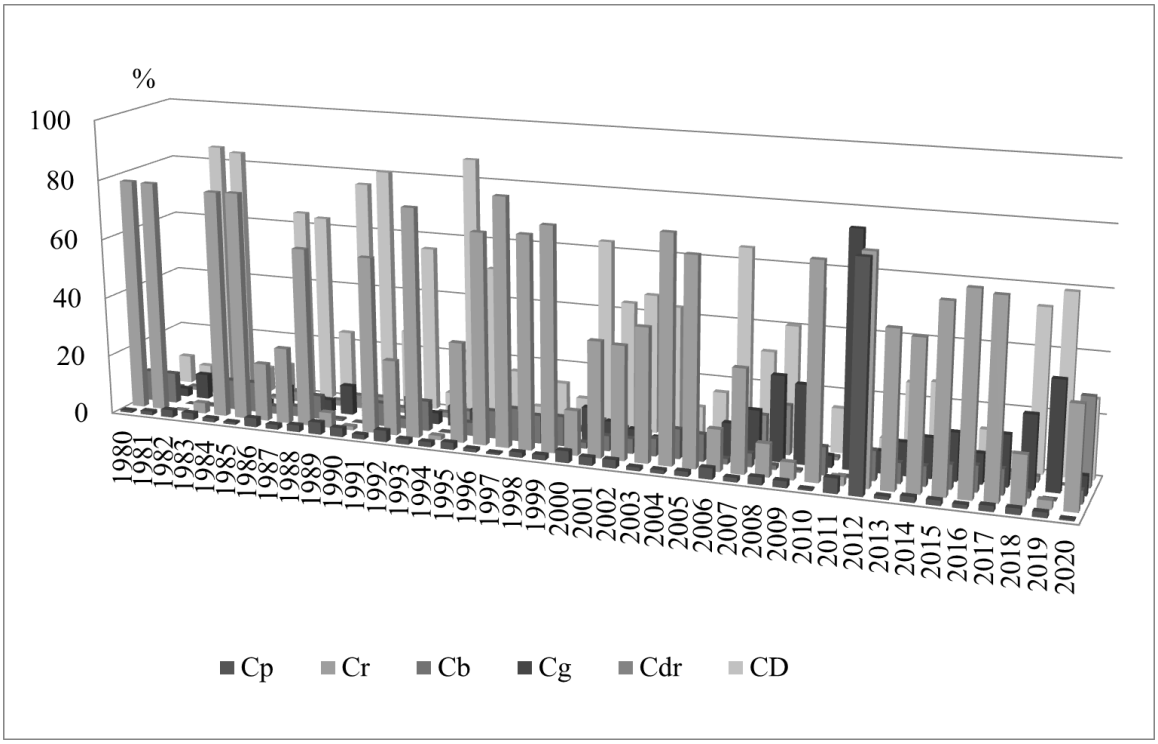


Рисунок 4.2 – Багаторічна мінливість приходної складової сольових балансів озера Катлабух (1980-2020 рр.)

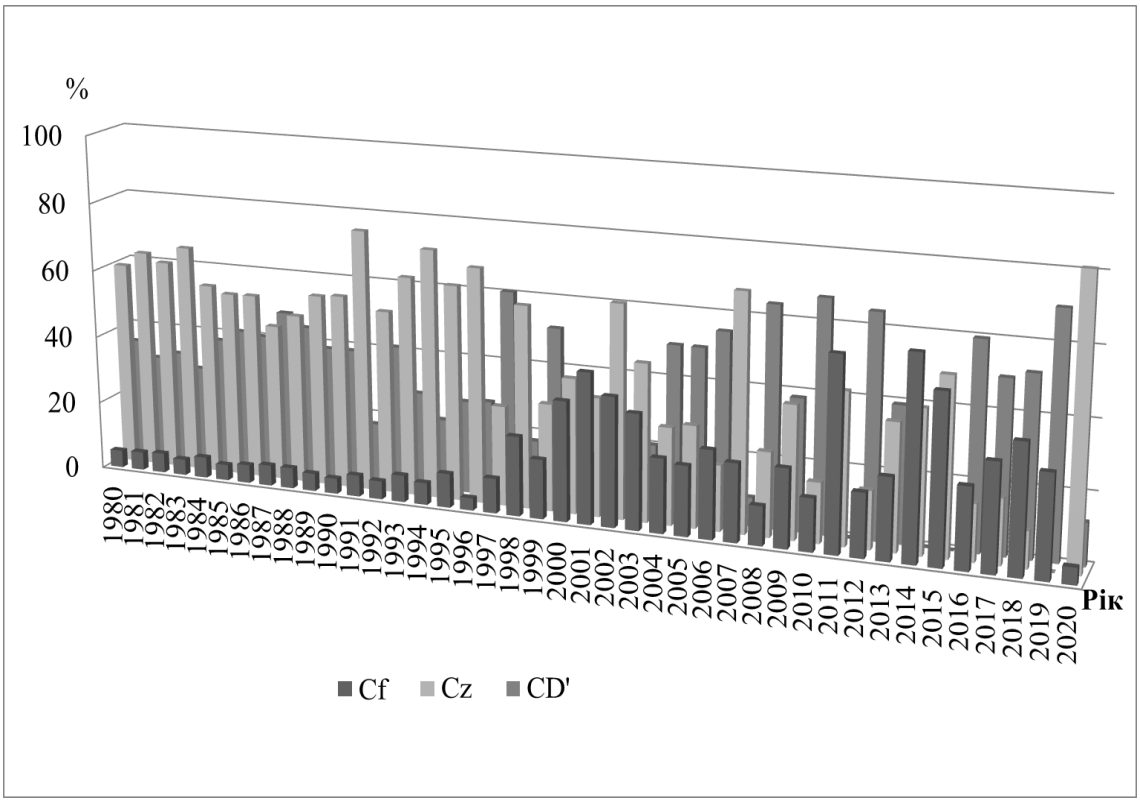


Рисунок 4.3 – Багаторічна мінливість витратної складової сольових балансів озера Катлабух (1980-2020 рр.)

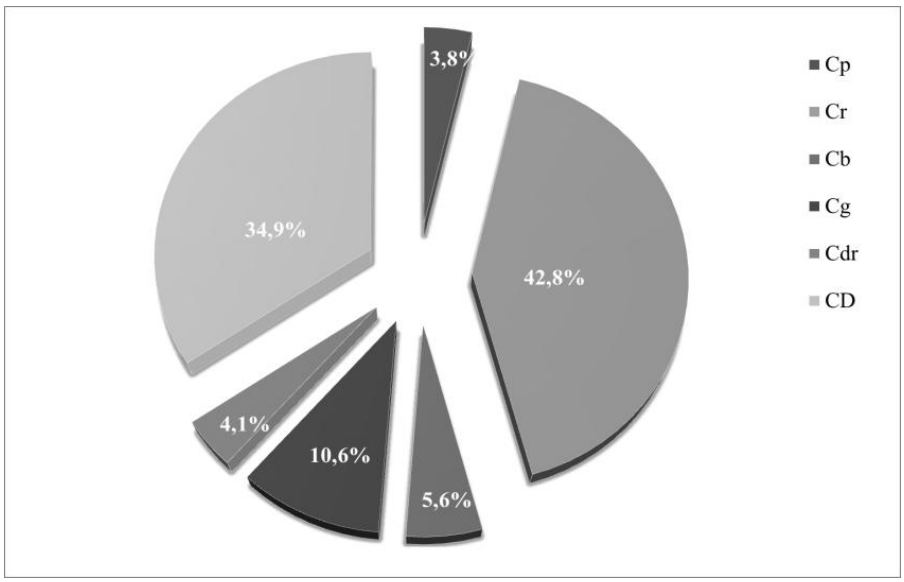


Рисунок 4.4 – Відносний внесок (у %) складових приходної частини сольових балансів озера Катлабух в середньому за 1980-2020 рр.

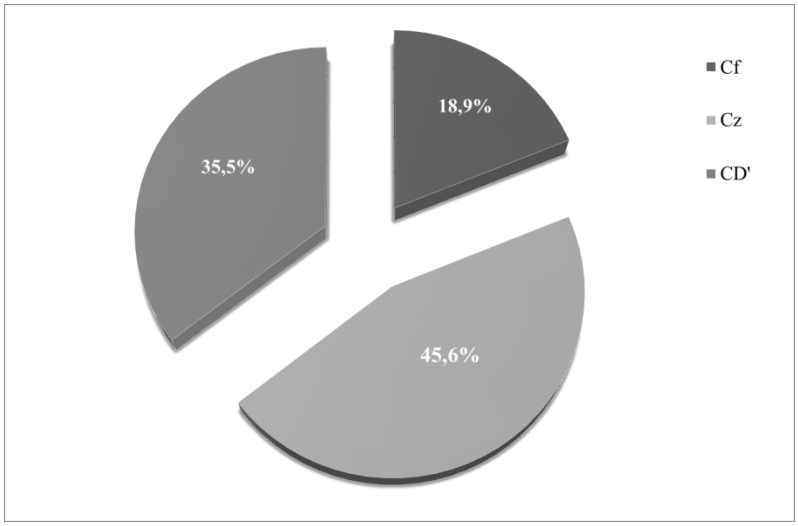


Рисунок 4.5 – Відносний внесок (у %) складових витратної частини сольових балансів озера Катлабух в середньому за 1980-2020 рр.

Умовні позначення на рис. 4.4 та 4.5 : C_P - концентрація солей в опадах; C_r - концентрація солей у водах річок, що впадають в озеро; C_b - концентрація солей в водах бічного припливу; C_{gr} - концентрація солей в ґрунтових водах; C_{dr} - концентрація солей в дренажних водах; C_D -

концентрація солей в водах, що надходять з р. Дунай. C_f - концентрація солей у воді, що втрачається на фільтрацію; C_z - концентрація солей у воді, що витрачається на зрошування; $C_{D'}$ - концентрація солей у воді, що скидається до р. Дунай.

За результатами розрахунків сольових балансів озера Катлабух (при початковій мінералізації води в озері 1,5 г/дм^3) побудовано графік часової мінливості мінералізації води за період до 2020 року, який представлено на рис. 4.6. У період 1980-1996 рр. розрахункова мінералізація вод була на рівні проектної (1,0-1,5 г/дм^3), а з 1997 р., при погіршенні умов водообміну у водоймі, вона почала різко зростати – до величин 5,4 г/дм^3, потім дещо знижувалася і знов почала зростати – до 4,5 г/дм^3 і вище. У зв'язку з різким падінням рівня води в озері у 2019 і 2020 рр. спостерігалося різке підвищення мінералізації води до 4,0 і вище г/дм^3. В результаті примусової підкачки води у 2020 р. рівні води дещо підвищились, а мінералізація знизилася до 2,0-2,5 г/дм^3, при цьому спостерігається добра збіжність розрахункових і виміряних значень мінералізації води (рис. 4.6).

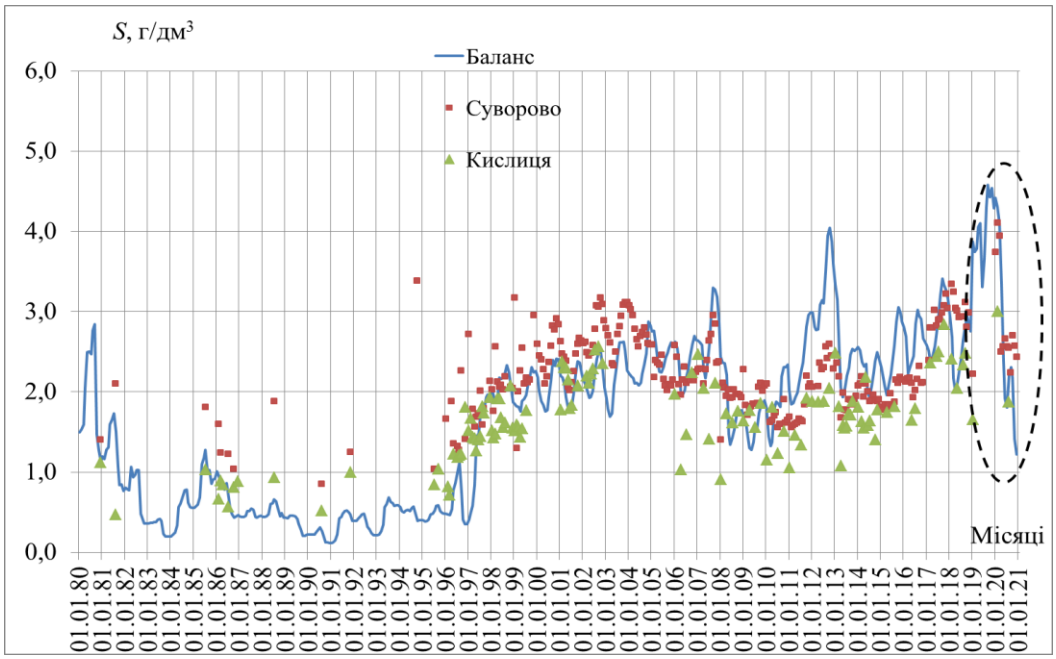


Рисунок 4.6 – Багаторічна мінливість мінералізації і рівнів води в озері Катлабух за 1980-2020 рр.

Основні результати по розрахунках водних і сольових балансів озера Катлабух представлені в роботах автора [36, 40, 41], а оцінка якості води на прикладі озера Ялпуг – в [42].

Встановлено, що зменшення мінералізації озера і можливість його водокористування для галузей господарства обумовлена гідротехнічними заходами по водообміну з р.Дунай та заборами води на зрошування.

Авторами [43] запропонований автоматизований програмний комплекс для багаторічного і щорічного розрахунку складових сольового і водного режимів озера Катлабух (з часовим кроком в один місяць), графічного і табличного представлення результатів розрахунків за різних умов водообміну у водоймі, що дає можливість здійснювати на вдосконалення режимів експлуатації водойми.

5. Автоматизований програмний комплекс для розрахунку складових водного і сольового режимів озера Катлабух

Автоматизований програмний комплекс для багаторічного і щорічного розрахунку складових сольового і водного режимів озера Катлабух (з часовим кроком в один місяць), графічного і табличного представлення результатів розрахунків за різних умов водообміну у водоймі, що дає можливість здійснювати на вдосконалення режимів експлуатації водойми запропонований авторами [43].

Головне вікно програми представлено на рис. 5.1. Програмний комплекс «*CatlabuhApp*» призначений для автоматизації та полегшення процесу проведення розрахунків водного і сольового балансів озера Катлабух, який викладений у розд. 3 та 4 роботи. Можливості «*CatlabuhApp*» полягають у проведенні розрахунків; збереженні розрахункових даних; побудові діаграм на основі даних розрахунків. Основні етапи розрахунків за моделлю водно-сольового балансу озера Катлабух у програмному комплексі представлені блок-схемою (рис. 5.2).

Посібник користувача створено авторами програмного комплексу *«CatlabuhApp»* [43].

Програмний комплекс *«CatlabuhApp»* використаний в даній роботі для автоматизації та полегшення процесу розрахунків (з часовим шагом в один місяць) водного та сольового режимів озера Катлабух (в 2019 та 2020 рр.) за наявності різного набору вхідних даних, графічного інтерфейсу представлення результатів розрахунків та їх похибок.

Основні результати по розрахунках водних і сольових балансів озера Катлабух за програмним комплексом *«CatlabuhApp»* представлені в роботі автора [41].

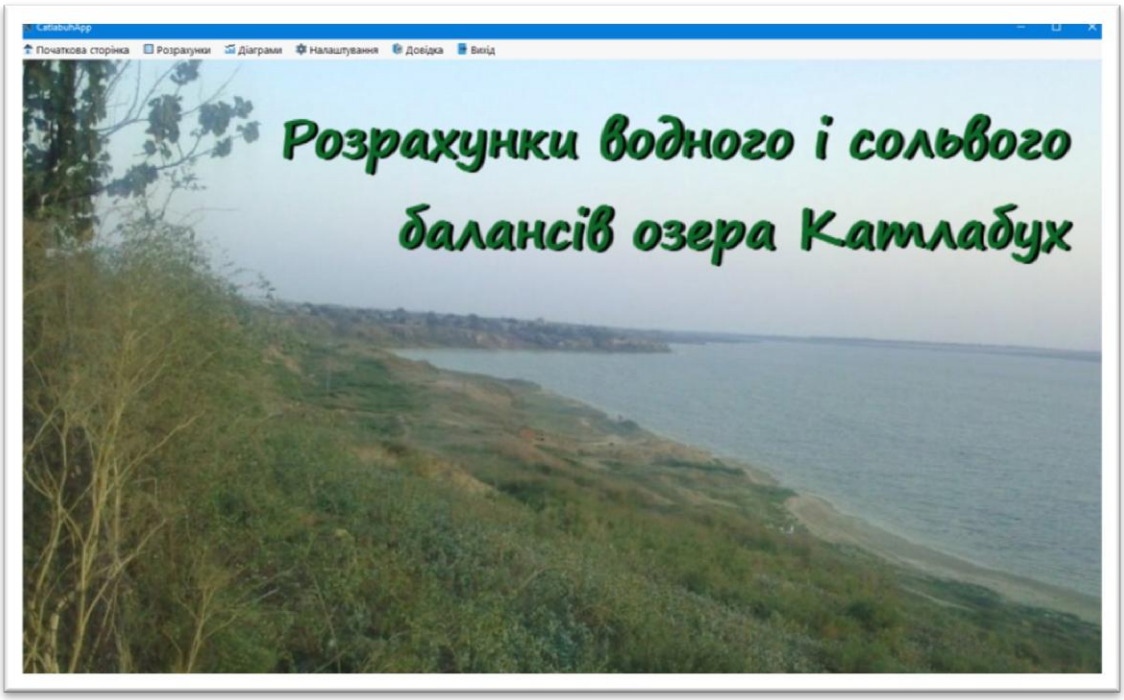


Рисунок 5.1 – Головне вікно програмного комплексу «*CatlabuhApp*»

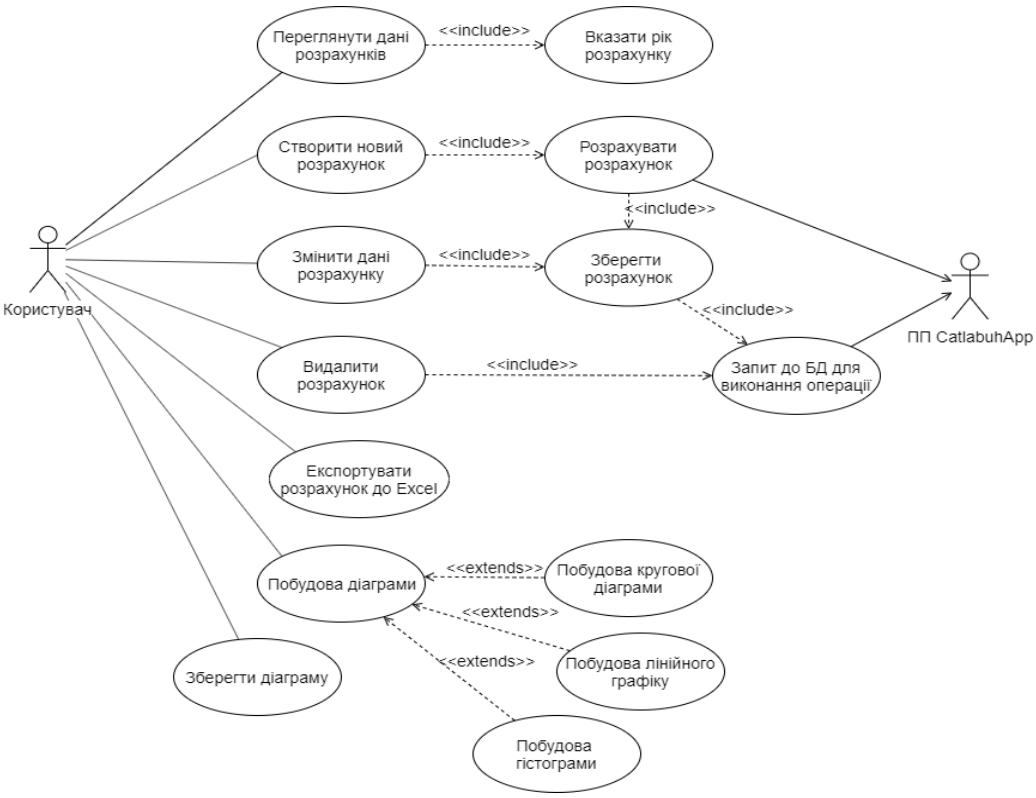


Рисунок 5.2 – Блок-схема етапів розрахунків у програмному комплексі «*CatlabuhApp*» за моделлю водно-сольового балансу озера Катлабух

5.1 Посібник користувача програмного комплексу «*CatlabuhApp*»

Посібник користувача програмного комплексу «*CatlabuhApp*» є частиною користувальницької документації на програмний продукт (комплекс) «*CatlabuhApp*» версії 0.5 [43]. Включає наступні розділи:

- Загальні відомості – включає специфікації апаратних засобів і програмного забезпечення робочого місця.
- Інтерфейс користувача – включає опис інтерфейсу користувача.
- Шляхи вирішення задач користувача – включає опис вирішення поставлених користувачем задач.

Загальні відомості. Для зручності роботи в програмі «CatlabuhApp» рекомендуються персональний комп'ютер з наступними характеристиками апаратного і програмного забезпечення (табл. 5.1 і табл. 5.2):

Таблиця 5.1 - Апаратне забезпечення

Апаратне забезпечення	**Характеристики**
Центральний процесор	P-III 700МГц і вище
ОЗП	не менш 512 Мб
Монітор	роздільна здатність не менше ніж 1440x900, рекомендована – 1920x1080

Таблиця 5.2 - Програмне забезпечення

Програмне забезпечення	**Характеристики**
Операційна система	MS Windows 7, 8, 10

Після аналізу моделі розрахунку і алгоритму його проведення, було виділено 4 групи процесів для поняття моделі розрахунку:

1) Вхідні дані (InputData) – дані, які вводяться користувачем, для проведення розрахунку.

2) Диспетчерський графік роботи шлюзів (GatewaySchedule) – дані з диспетчерського графіку роботи шлюзів, які можуть бути вихідними даними якщо користувач вирішив розрахувати ці дані або частиною вхідних даних.

3) Розрахунок (Calculation) – група, яка виконує операцію розрахунку за вихідними даними та об’єднує всі частини даних моделей.

4) Вихідні дані (OutputData) – отримані дані в ході виконання операції розрахунку.

Інтерфейс користувача.

При створюванні проекту інтерфейсу користувача виділено 3 сторінки програмного комплексу:

1) сторінка «Перегляд розрахунків» − призначена для перегляду і видозміні вже існуючих розрахунків. Вона (ця сторінка) складається з Панелі інструментів (рис. 5.3) і Панелі вкладок для перегляду розрахункових даних балансів:

- Водний баланс (рис. 5.4);
- Сольовий баланс(рис. 5.5).

Будь який баланс складається з двох частин: прибуткової і витратної. Перелік умовних позначень до розрахунків водних балансів надається в табл. 5.3, 5.4, а сольових балансів – в табл. 5.5,5.6;

2) сторінка «Перегляд налаштувань» − призначена для перегляду і модифікації налаштувань програми і коефіцієнтів розрахунку, які беруть участь під час проведення розрахунку водного і сольового балансів;

3) сторінка «Перегляд діаграм» − призначена для створення, перегляду і налаштування діаграми.

Для виклику тієї чи іншої сторінки, користувачеві надано Головне меню.

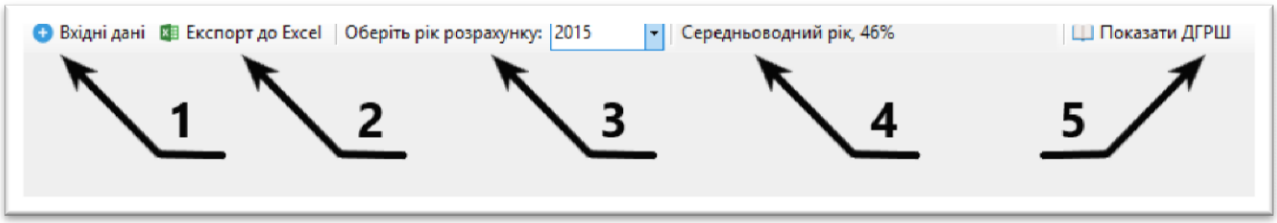
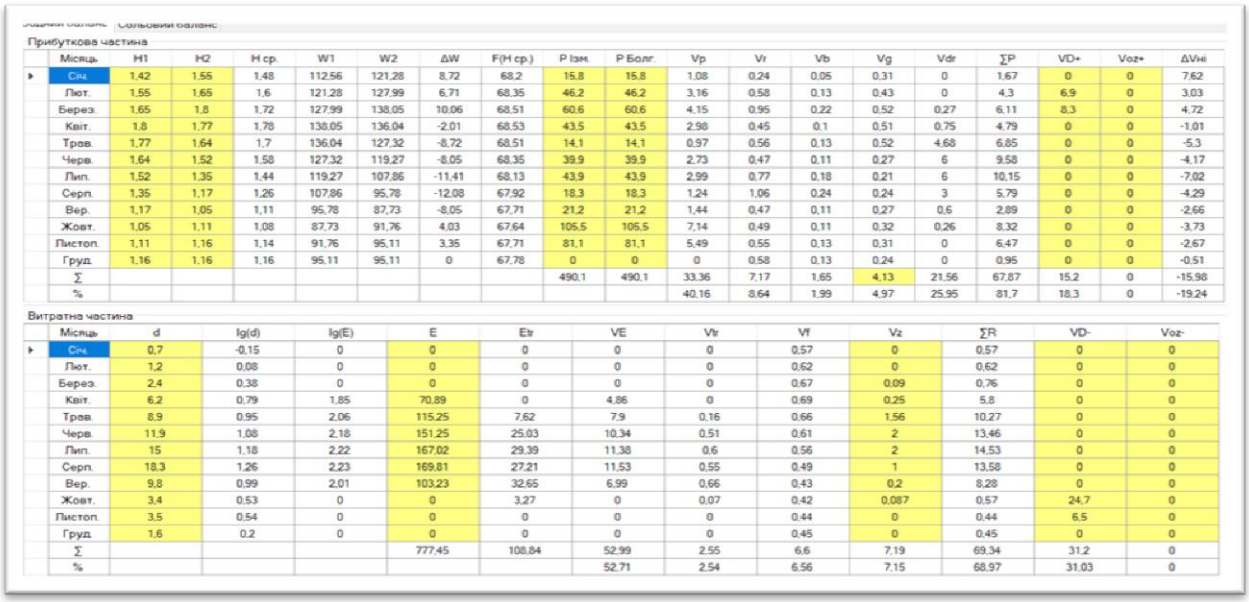


Рисунок 5.3 – Панель інструментів сторінки перегляду розрахунків



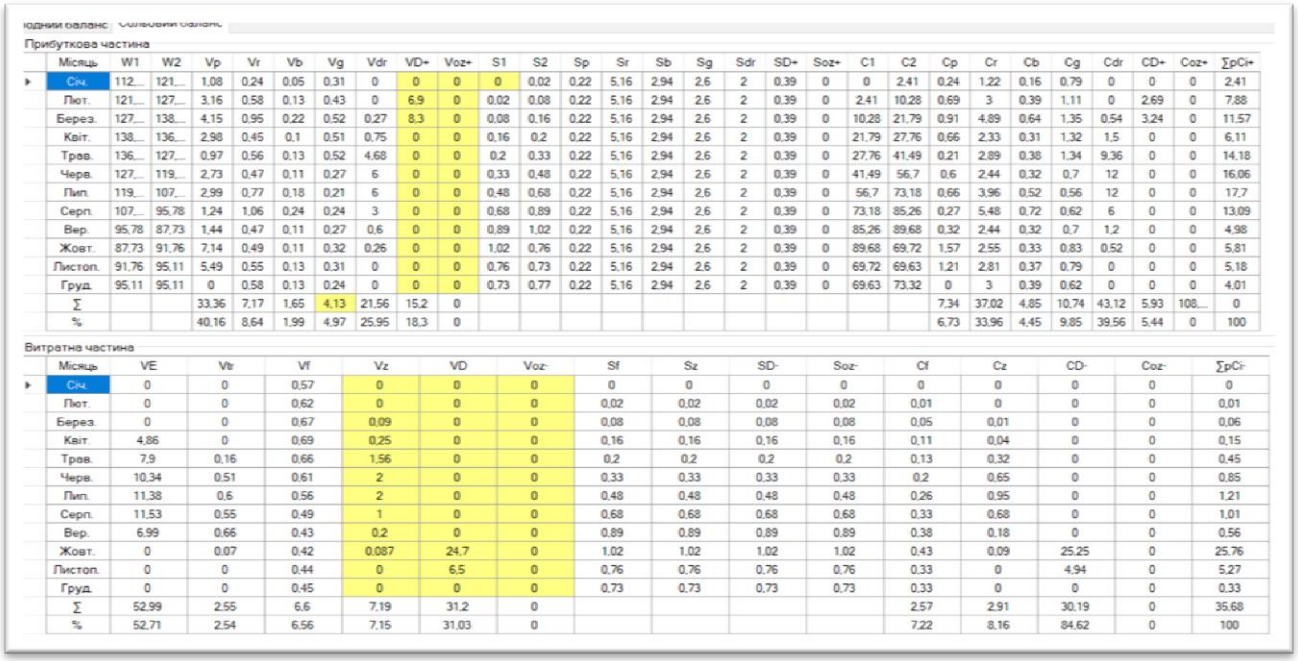
Прибуткова частина

Місяць	H1	H2	H ср.	W1	W2	ΔW	F(H ср.)	P Ізм.	P Болг.	Vp	Vr	Vb	Vg	Vdr	∑P	VD+	Voz+	ΔVni
Січ.	1,42	1,55	1,48	112,56	121,28	8,72	68,2	15,8	15,8	1,08	0,24	0,05	0,31	0	1,67	0	0	7,62
Лют.	1,55	1,65	1,6	121,28	127,99	6,71	68,35	46,2	46,2	3,16	0,58	0,13	0,43	0	4,3	6,9	0	3,03
Берез.	1,65	1,8	1,72	127,99	138,05	10,06	68,51	60,6	60,6	4,15	0,95	0,22	0,52	0,27	6,11	8,3	0	4,72
Квіт.	1,8	1,77	1,78	138,05	136,04	-2,01	68,53	43,5	43,5	2,98	0,45	0,1	0,51	0,75	4,79	0	0	-1,01
Трав.	1,77	1,64	1,7	136,04	127,32	-8,72	68,51	14,1	14,1	0,97	0,56	0,13	0,52	4,68	6,85	0	0	-5,3
Черв.	1,64	1,52	1,58	127,32	119,27	-8,05	68,35	39,9	39,9	2,73	0,47	0,11	0,27	6	9,58	0	0	-4,17
Лип.	1,52	1,35	1,44	119,27	107,86	-11,41	68,13	43,9	43,9	2,99	0,77	0,18	0,21	6	10,15	0	0	-7,02
Серп.	1,35	1,17	1,26	107,86	95,78	-12,08	67,92	18,3	18,3	1,24	1,06	0,24	0,24	3	5,79	0	0	-4,29
Вер.	1,17	1,05	1,11	95,78	87,73	-8,05	67,71	21,2	21,2	1,44	0,47	0,11	0,27	0,6	2,89	0	0	-2,66
Жовт.	1,05	1,11	1,08	87,73	91,76	4,03	67,64	105,5	105,5	7,14	0,49	0,11	0,32	0,26	8,32	0	0	-3,73
Листоп.	1,11	1,16	1,14	91,76	95,11	3,35	67,71	81,1	81,1	5,49	0,55	0,13	0,31	0	6,47	0	0	-2,67
Груд.	1,16	1,16	1,16	95,11	95,11	0	67,78	0	0	0	0,58	0,13	0,24	0	0,95	0	0	-0,51
∑								490,1	490,1	33,36	7,17	1,65	4,13	21,56	67,87	15,2	0	-15,98
%										40,16	8,64	1,99	4,97	25,95	81,7	18,3	0	-19,24

Витратна частина

Місяць	d	lg(d)	lg(E)	E	Etr	VE	Vtr	Vf	Vz	∑R	VD-	Voz-
Січ.	0,7	-0,15	0	0	0	0	0	0,57	0	0,57	0	0
Лют.	1,2	0,08	0	0	0	0	0	0,62	0	0,62	0	0
Берез.	2,4	0,38	0	0	0	0	0	0,67	0,09	0,76	0	0
Квіт.	6,2	0,79	1,85	70,89	0	4,86	0	0,69	0,25	5,8	0	0
Трав.	8,9	0,95	2,06	115,25	7,62	7,9	0,16	0,66	1,56	10,27	0	0
Черв.	11,9	1,08	2,18	151,25	25,03	10,34	0,51	0,61	2	13,46	0	0
Лип.	15	1,18	2,22	167,02	29,39	11,38	0,6	0,56	2	14,53	0	0
Серп.	18,3	1,26	2,23	169,81	27,21	11,53	0,55	0,49	1	13,58	0	0
Вер.	9,8	0,99	2,01	103,23	32,65	6,99	0,66	0,43	0,2	8,28	0	0
Жовт.	3,4	0,53	0	0	3,27	0	0,07	0,42	0,087	0,57	24,7	0
Листоп.	3,5	0,54	0	0	0	0	0	0,44	0	0,44	6,5	0
Груд.	1,6	0,2	0	0	0	0	0	0,45	0	0,45	0	0
∑				777,45	108,84	52,99	2,55	6,6	7,19	69,34	31,2	0
%						52,71	2,54	6,56	7,15	68,97	31,03	0

Рисунок 5.4 – Панель вкладок - сторінка перегляду розрахунку. Вкладка водного балансу



Прибуткова частина

Місяць	W1	W2	Vp	Vr	Vb	Vg	Vdr	VD+	Voz+	S1	S2	Sp	Sr	Sb	Sg	Sdr	SD+	Soz+	C1	C2	Cp	Cr	Cb	Cg	Cdr	CD+	Coz+	∑pCi+
Січ.	112,...	121,...	1,08	0,24	0,05	0,31	0	0	0	0	0,02	0,22	5,16	2,94	2,6	2	0,39	0	0	2,41	0,24	1,22	0,16	0,79	0	0	0	2,41
Лют.	121,...	127,...	3,16	0,58	0,13	0,43	0	6,9	0	0,02	0,08	0,22	5,16	2,94	2,6	2	0,39	0	2,41	10,28	0,69	3	0,39	1,11	0	2,69	0	7,88
Берез.	127,...	138,...	4,15	0,95	0,22	0,52	0,27	8,3	0	0,08	0,16	0,22	5,16	2,94	2,6	2	0,39	0	10,28	21,79	0,91	4,89	0,64	1,35	0,54	3,24	0	11,57
Квіт.	138,...	136,...	2,98	0,45	0,1	0,51	0,75	0	0	0,16	0,2	0,22	5,16	2,94	2,6	2	0,39	0	21,79	27,76	0,66	2,33	0,31	1,32	1,5	0	0	6,11
Трав.	136,...	127,...	0,97	0,56	0,13	0,52	4,68	0	0	0,2	0,33	0,22	5,16	2,94	2,6	2	0,39	0	27,76	41,49	0,21	2,89	0,38	1,34	9,36	0	0	14,18
Черв.	127,...	119,...	2,73	0,47	0,11	0,27	6	0	0	0,33	0,48	0,22	5,16	2,94	2,6	2	0,39	0	41,49	56,7	0,6	2,44	0,32	0,7	12	0	0	16,06
Лип.	119,...	107,...	2,99	0,77	0,18	0,21	6	0	0	0,48	0,68	0,22	5,16	2,94	2,6	2	0,39	0	56,7	73,18	0,66	3,96	0,52	0,56	12	0	0	17,7
Серп.	107,...	95,78	1,24	1,06	0,24	0,24	3	0	0	0,68	0,89	0,22	5,16	2,94	2,6	2	0,39	0	73,18	85,26	0,27	5,48	0,72	0,62	6	0	0	13,09
Вер.	95,78	87,73	1,44	0,47	0,11	0,27	0,6	0	0	0,89	1,02	0,22	5,16	2,94	2,6	2	0,39	0	85,26	89,68	0,32	2,44	0,32	0,7	1,2	0	0	4,98
Жовт.	87,73	91,76	7,14	0,49	0,11	0,32	0,26	0	0	1,02	0,76	0,22	5,16	2,94	2,6	2	0,39	0	89,68	69,72	1,57	2,55	0,33	0,83	0,52	0	0	5,81
Листоп.	91,76	95,11	5,49	0,55	0,13	0,31	0	0	0	0,76	0,73	0,22	5,16	2,94	2,6	2	0,39	0	69,72	69,63	1,21	2,81	0,37	0,79	0	0	0	5,18
Груд.	95,11	95,11	0	0,58	0,13	0,24	0	0	0	0,73	0,77	0,22	5,16	2,94	2,6	2	0,39	0	69,63	73,32	0	3	0,39	0,62	0	0	0	4,01
∑			33,36	7,17	1,65	4,13	21,56	15,2	0												7,34	37,02	4,85	10,74	43,12	5,93	108,...	0
%			40,16	8,64	1,99	4,97	25,95	18,3	0												6,73	33,96	4,45	9,85	39,56	5,44	0	100

Витратна частина

Місяць	VE	Vtr	Vf	Vz	VD	Voz-	Sf	Sz	SD-	Soz-	Cf	Cz	CD-	Coz-	∑pCi-
Січ.	0	0	0,57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Лют.	0	0	0,62	0	0	0	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0	0	0	0,01
Берез.	0	0	0,67	0,09	0	0	0,08	0,08	0,08	0,08	0,05	0,01	0	0	0,06
Квіт.	4,86	0	0,69	0,25	0	0	0,16	0,16	0,16	0,16	0,11	0,04	0	0	0,15
Трав.	7,9	0,16	0,66	1,56	0	0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,13	0,32	0	0	0,45
Черв.	10,34	0,51	0,61	2	0	0	0,33	0,33	0,33	0,33	0,2	0,65	0	0	0,85
Лип.	11,38	0,6	0,56	2	0	0	0,48	0,48	0,48	0,48	0,26	0,95	0	0	1,21
Серп.	11,53	0,55	0,49	1	0	0	0,68	0,68	0,68	0,68	0,33	0,68	0	0	1,01
Вер.	6,99	0,66	0,43	0,2	0	0	0,89	0,89	0,89	0,89	0,38	0,18	0	0	0,56
Жовт.	0	0,07	0,42	0,087	24,7	0	1,02	1,02	1,02	1,02	0,43	0,09	25,25	0	25,76
Листоп.	0	0	0,44	0	6,5	0	0,76	0,76	0,76	0,76	0,33	0	4,94	0	5,27
Груд.	0	0	0,45	0	0	0	0,73	0,73	0,73	0,73	0,33	0	0	0	0,33
∑	52,99	2,55	6,6	7,19	31,2	0					2,57	2,91	30,19	0	35,68
%	52,71	2,54	6,56	7,15	31,03	0					7,22	8,16	84,62	0	100

Рисунок 5.5 – Панель вкладок - сторінка перегляду розрахунку. Вкладка сольового балансу

Таблиця 5.3 - Складові ВБПЧ (водний баланс прибуткова частина)

Позначення складової	Опис	**Одиниці вимірювання**
H1	Рівень води на початку місяця	мБС
H2	Рівень води наприкінці місяця	мБС
H ср.	Середній рівень води за місяць	мБС
W1	Об'єм води в озері на початку місяця	млн м^3
W2	Об'єм води в озері наприкінці місяця	млн м^3
ΔW	Зміни об'ємів води в озері за місяць	млн м^3
F(H ср.)	Площа водного дзеркала	км^2
P Ізм.	Опади виміряні на м/ст Ізмаїл	мм
P Болг.	Опади виміряні на м/ст Болград	мм
Vp	Об'єм атмосферних опадів	млн м^3
Vr	Об'єм річкового стоку	млн м^3
Vb	Об'єм бічного припливу	млн м^3
Vg	Об'єм припливу ґрунтових вод	млн м^3
Vdr	Об'єм надходження дренажних вод	млн м^3
∑P	Сума прихідної частини	млн м^3
VD+	Приплив води з р. Дунай	млн м^3
Voz+	Підтримка рівнів води озер Лунг-Сафьян	млн м^3
ΔVні	Нев'язкі рівняння водного балансу	млн м^3

Таблиця 5.4 - Складові ВБВЧ (водний баланс витратна частина)

Позначення складової	**Опис**	**Одиниці вимірювання**
D	Дефіцит влогості	гПа
lg(d)	Логарифм дефіциту вологості	-
lg(E)	Логарифм випаровування	-
E	Випаровування	мм
Etr	Транспірація	мм
VE	Об'єм випаровування	млн м^3
Vtr	Об'єм транспірації	млн м^3
Vf	Об'єм фільтраціїї	млн м^3
Vz	Збір води на зрошування	млн м^3
∑R	Сума витратної частини	млн м^3
VD-	Скиди води з озера в р. Дунай	млн м^3
Voz-	Підримка рівнів води озер Лунг-Сафьян	млн м^3

Таблиця 5.5 - Складові СБПЧ (сольовий баланс прибуткова частина)

Позначення складової	**Опис**	**Одиниці вимірювання**
W1, W2, Vp, Vr, Vb, Vg, Vdr, VD+, Voz+	Дивись (2.6)	млн м^3
S1	Середня по озеру мінералізація на початку місяця	кг/м^3
S2	Середня по озеру мінералізація наприкінці місяця	кг/м^3
Sp	Мінералізація атмосферних опадів	кг/м^3
Sr	Мінералізація поверхневого стоку	кг/м^3
Sb	Мінералізація бічного стоку	кг/м^3
Sg	Мінералізація ґрунтового стоку	кг/м^3
Sdr	Мінералізація дренажних вод	кг/м^3
SD+	Мінералізація Дунайської води	кг/м^3
Soz+	Мінералізація води на підтримку рівнів води в системі озер Лунг-Сафьян	кг/м^3
C1	Концентрація солей по озеру на початку місяця	10^6 т.
C2	Концентрація солей по озеру на прикінці місяця	10^6 т.
Cp	Надходження солей з опадами	10^6 т.
Cr	Надходження солей з поверхневим стоком	10^6 т.
Cb	Надходження солей з бічним припливом	10^6 т.
Cg	Надходження солей з ґрунтовими водами	10^6 т.
Cdr	Надходження солей з дренажними водами	10^6 т.
CD+	Надходження солей з Дунайською водою	10^6 т.
Coz+	Надходження солей з системи озер Лунг-Сафьян	10^6 т.
∑pCi+	Сума прихідної частини	10^6 т.

Таблиця 5.6 - Складові СБВЧ (сольовий баланс витратна частина)

Позначення складової	**Опис**	**Одиниці вимірювання**
VE, Vtr, Vf, Vz, VD-, Voz-	Дивись (2.6)	млн м^3
Sf	Мінералізація фільтрації	кг/м^3
Sz	Мінералізація збору води на зрошування	кг/м^3
SD-	Мінералізація скидів води у р. Дунай	кг/м^3
Soz-	Мінералізація води на підтримку рівнів води в системі озер Лунг-Сафьян	кг/м^3
Cf	Втрата солей з фільтрацією	10^6 т.
Cz	Втрата солей на зрошуванні	10^6 т.

CD-	Скиди води разом із солями у р. Дунай	10^6 т.
Coz-	Вивід солей з водою на підтримку рівнів води у системі озер Лунг-Сафьян	10^6 т.
ЕрСі-	Сума витратної частини	10^6 т.

Сторінка «Перегляд налаштувань».

Налаштування програми розміщені у вкладці «Загальні налаштування», налаштування коефіцієнтів розрахунку у вкладці – «Налаштування розрахунку».

У вкладці «Загальні налаштування» можна змінити:

- Шлях до файлу бази даних розрахунків;
- Розташування папки, куди будуть зберігатися Excel-файли розрахунків;
- Розташування папки, куди будуть зберігатися зображень діаграм;
- Мову програмного продукту.

У вкладці «Налаштування розрахунку» (рис.Ж.3) можна змінити:

- Коефіцієнти, що беруть участь в проведені розрахунку ВБПЧ, ВБВЧ, СБПЧ і СБВЧ
- Значення таблиць розподілів:
  - поверхневого стоку;
  - припливу ґрунтових вод;
- Відношень:
  - F до Нср.;
  - P до p%;
  - kp до p%;

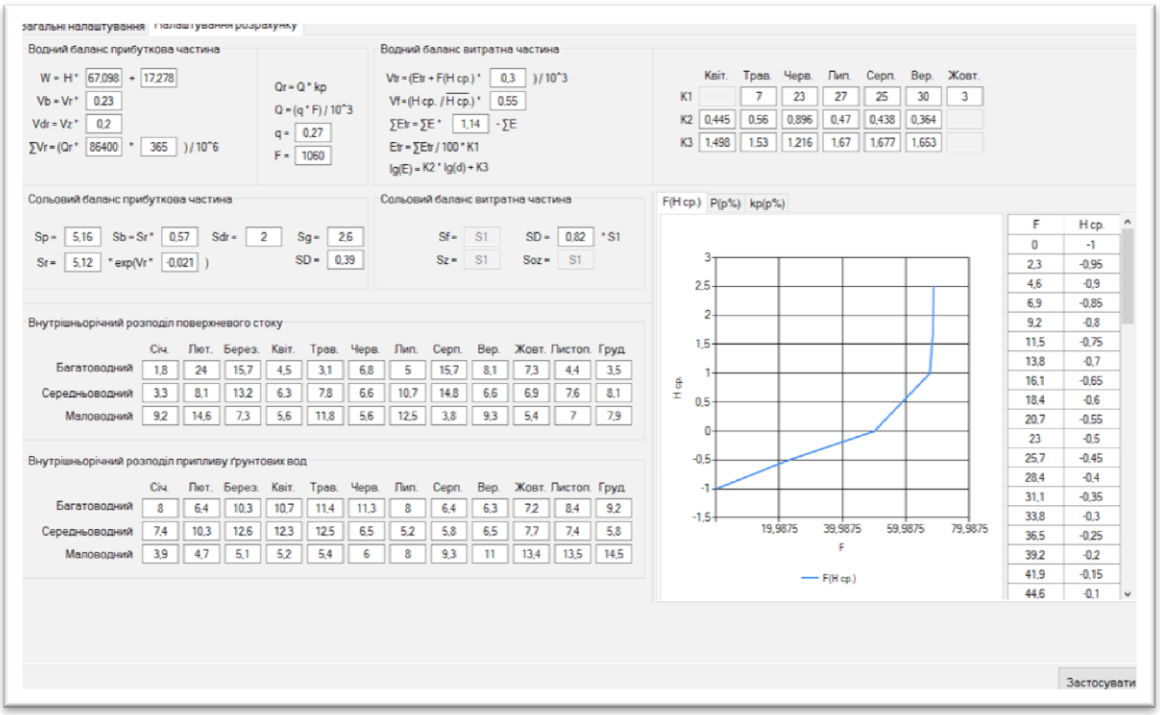
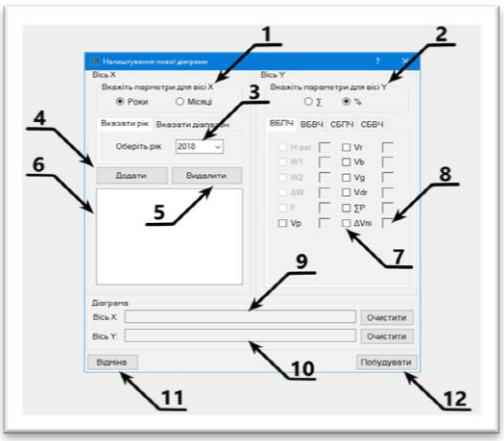
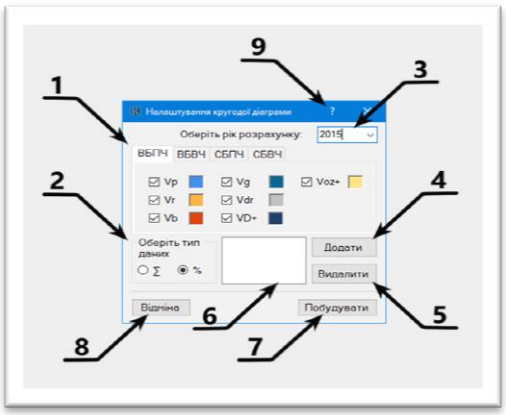


Рисунок 5.6 − Сторінка перегляду налаштувань. Вкладка налаштувань коефіцієнтів розрахунку

Сторінка «Перегляд діаграм» призначена для формування (створення), перегляду і налаштуванню діаграми. Сторінка складається з Панелі інструментів (рис.5.7) і Області діаграми (рис.5.8).



а)



б)

Рисунок 5.7 - Вікно налаштування стовбчатої (а) та кругової (б) діаграм

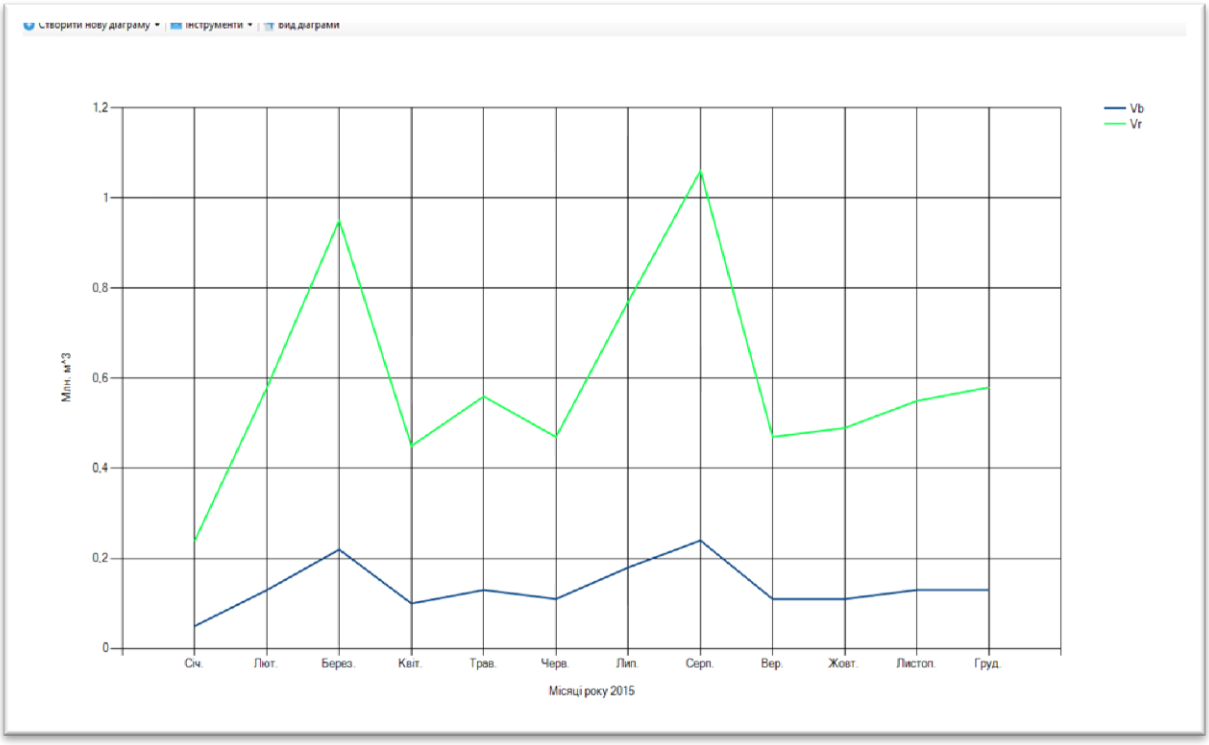


Рисунок 5.8 – Сторінка перегляду діаграми

Встановлення і перший запуск програмного продукту «*CatlabuhApp*».

Для встановлення цього програмного продукту на персональний комп’ютер, необхідно витягти папку CatlabuhApp з архіву у місце на диску, яке є вільним.

Для дебютного запуску програми треба встановити «NET Framework» версії 4.6.1. Якщо цей пакет є відсутнім, то при запуску CatlabuhApp, програма видає відповідне повідомлення.

Завантажити та встановити цей пакет можна з офіційного сайту Microsoft: https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=49982.

Розроблений програмний комплекс дозволяє якомога швидко та легко розрахувати водно-сольовий режим озера Катлабух, представити у вигляді графіка отримані результати, створити модель водний баланс водойми у часі за різних умов його водогосподарської використання з цілю надання резонних техніко-економічних рекомендацій щодо приведення озера до належного гідроекологічного стану.

Подальші можливості розвитку комплексу зв’язані з покрашенням і прискоренням обчислень розрахунку, просторовим по акваторії озера моделюванням розподілу мінералізації та якості води.

5.2 Збір вихідної гідрометеорологічної інформації і формування бази даних у програмному комплексі

В ході роботи для розрахунків водного балансу озера Катлабух був здійснений збір таких вихідних даних (у 2016-2020 рр.):

- сума опадів за місяць по метеостанції Ізмаіл та м/ст Болград;
- сума випаровування за місяць по метеостанції Болград;
- середньомісячні температури повітря по метеостанції Ізмаїл та Болград;
- щоденні рівні води в озері Катлабух.

Всі вихідні дані (2016-2020 рр.) були занесені до таблиці багаторічної гідрометеорологічної інформації в середі Exel, а також у базу вихідних даних програмного комплексу «*CatlabuhApp*» (рис. 5.9-5.13).

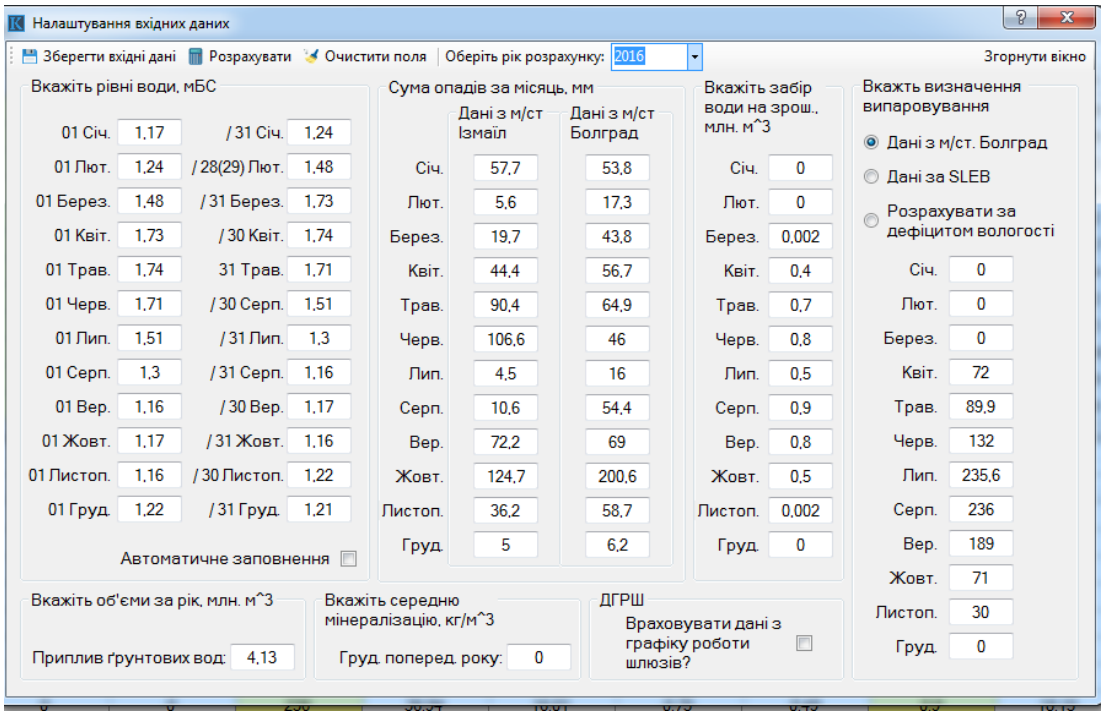


Рисунок 5.9 - Вихідні дані гідрометеорологічної інформації у базі даних програмного комплексу «*CatlabuhApp*» 2016 р.

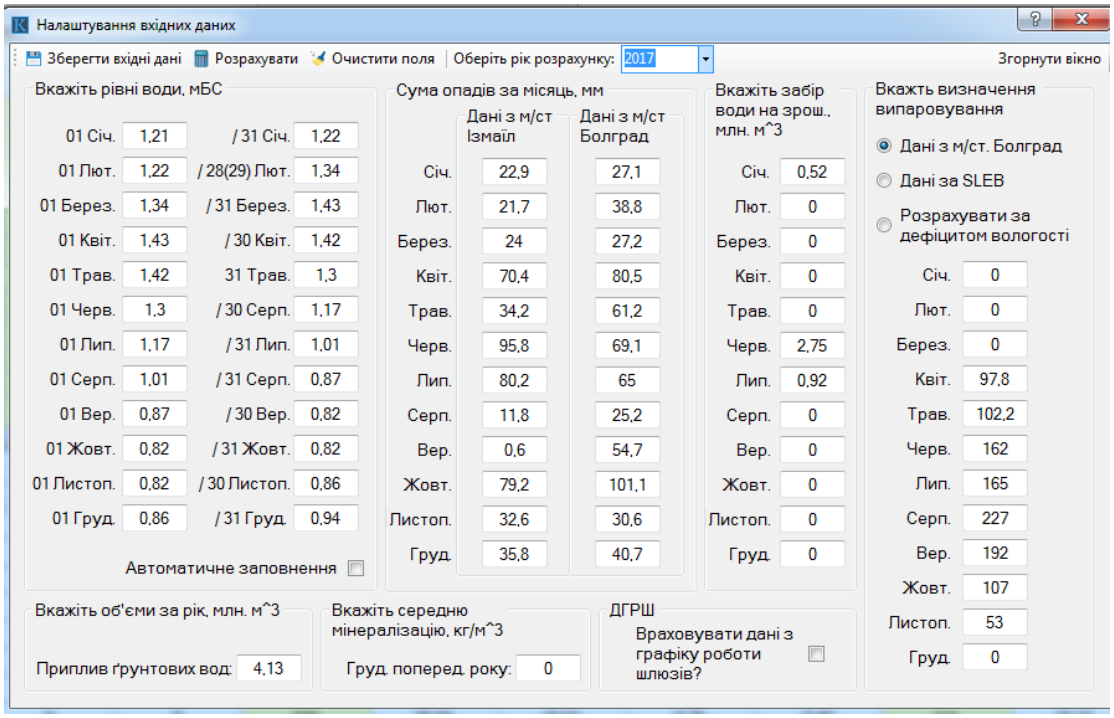


Рисунок 5.10 - Вихідні дані гідрометеорологічної інформації у базі даних програмного комплексу «*CatlabuhApp*» 2017 р.

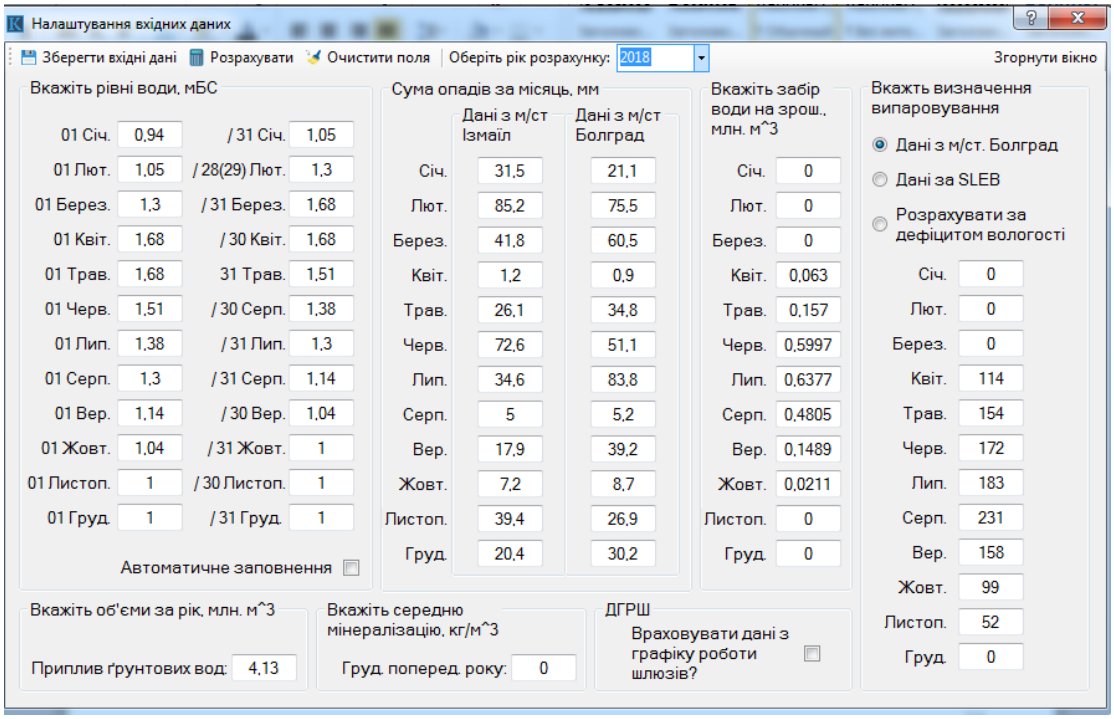


Рисунок 5.11 - Вихідні дані гідрометеорологічної інформації у базі даних програмного комплексу «*CatlabuhApp*» 2018 р.

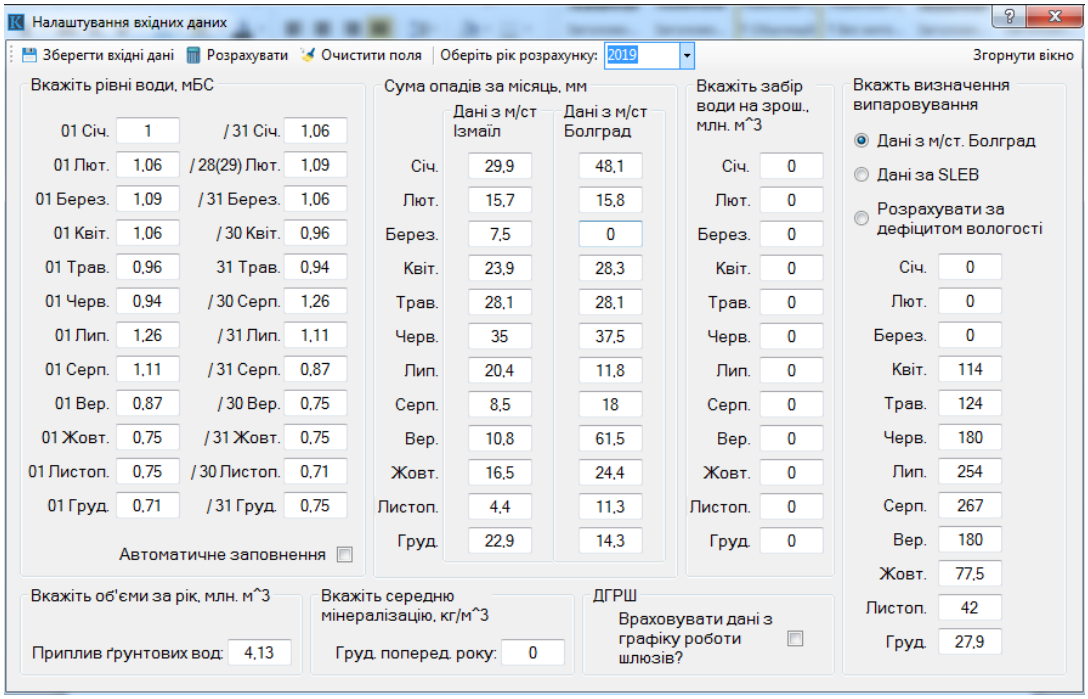


Рисунок 5.12 - Вихідні дані гідрометеорологічної інформації у базі даних програмного комплексу «*CatlabuhApp*» 2019 р.

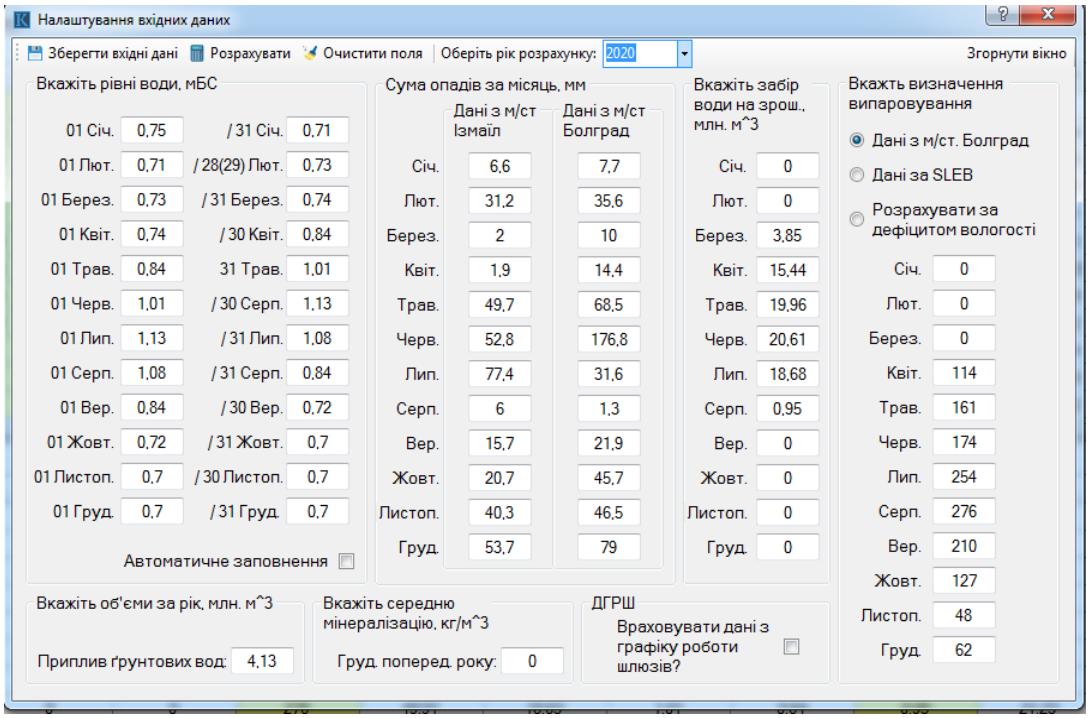


Рисунок 5.13 - Вихідні дані гідрометеорологічної інформації у базі даних програмного комплексу «*CatlabuhApp*» 2020 р.

5.3 Основні етапи розрахунків водного та сольового балансів озера Катлабух

Для виконання розрахунків ***водного балансу*** озера за програмним комплексом «*CatlabuhApp*» здійснюється за такими етапами:

1. Розрахунок компонентів приходної частини водного балансу (у млн м^3): V_{Pi} - атмосферні опади; V_{ri} - річковий стік; V_{bi} - бічний приплив; V_{gri} - приплив ґрунтових вод; V_{dri} - приплив дренажних вод; V_{Di} - стік річки Дунай.

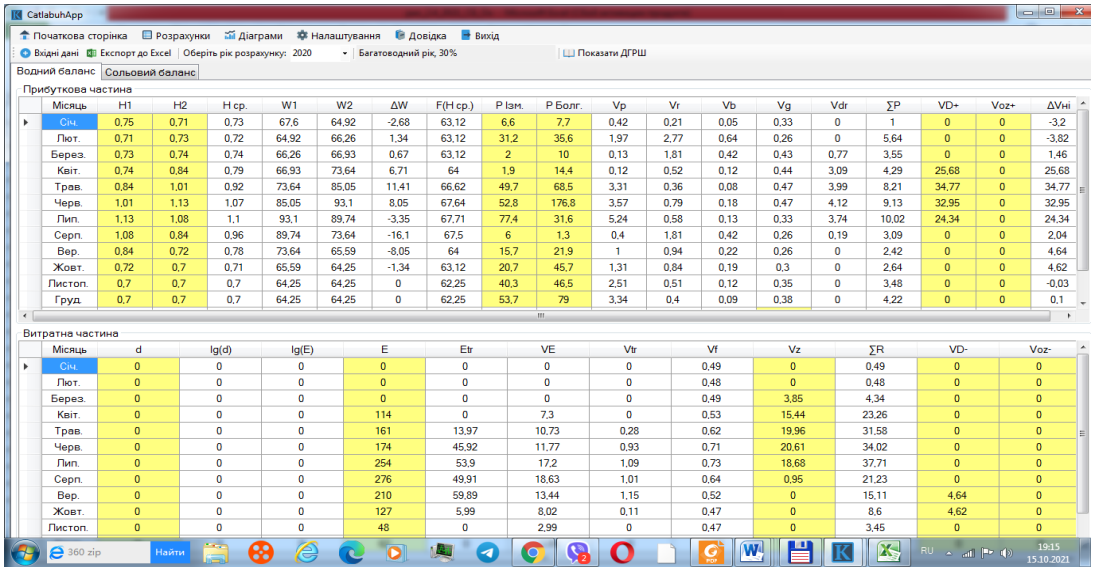
2. Розрахунок компонентів витратної частини водного балансу (у млн м^3):

До компонентів витратної частини відносяться такі складові: V_{Ei} - об'єм випаровування з водної поверхні озера; V_{tri} - об'єм транспірації водною рослинністю; V_{fi} - об'єм фільтрації води в береги; V_{zi} - об'єм забору води з водосховища Катлабух; V'_{Di} - об'єм скидів води з озера в р. Дунай; V_{ozi} - підтримка рівнів води озер Лунг-Саф'ян.

3. Розрахунок нев'язок водного балансу (у млн м^3 чи у %).

Результати розрахунків водного балансу озера Катлабух у 2020 р. (за пп.1-3) наведені в табл.5.7.

Таблиця 5.7 - Результати розрахунків водного балансу озера Катлабух у 2020 р.



Місяць	H1	H2	H ср.	W1	W2	ΔW	F(H ср.)	P Ізм.	P Болг.	Vp	Vr	Vb	Vg	Vdr	∑P	VD+	Voz+	ΔVні
Січ.	0,75	0,71	0,73	67,6	64,92	-2,68	63,12	6,6	7,7	0,42	0,21	0,05	0,33	0	1	0	0	-3,2
Лют.	0,71	0,73	0,72	64,92	66,26	1,34	63,12	31,2	35,6	1,97	2,77	0,64	0,26	0	5,64	0	0	-3,82
Берез.	0,73	0,74	0,74	66,26	66,93	0,67	63,12	2	10	0,13	1,81	0,42	0,43	0,77	3,55	0	0	1,46
Квіт.	0,74	0,84	0,79	66,93	73,64	6,71	64	1,9	14,4	0,12	0,52	0,12	0,44	3,09	4,29	25,68	0	25,68
Трав.	0,84	1,01	0,92	73,64	85,05	11,41	66,62	49,7	68,5	3,31	0,36	0,08	0,47	3,99	8,21	34,77	0	34,77
Черв.	1,01	1,13	1,07	85,05	93,1	8,05	67,64	52,8	176,8	3,57	0,79	0,18	0,47	4,12	9,13	32,95	0	32,95
Лип.	1,13	1,08	1,1	93,1	89,74	-3,35	67,71	77,4	31,6	5,24	0,58	0,13	0,33	3,74	10,02	24,34	0	24,34
Серп.	1,08	0,84	0,96	89,74	73,64	-16,1	67,5	6	1,3	0,4	1,81	0,42	0,26	0,19	3,09	0	0	2,04
Вер.	0,84	0,72	0,78	73,64	65,59	-8,05	64	15,7	21,9	1	0,94	0,22	0,26	0	2,42	0	0	4,64
Жовт.	0,72	0,7	0,71	65,59	64,25	-1,34	63,12	20,7	45,7	1,31	0,84	0,19	0,3	0	2,64	0	0	4,62
Листоп.	0,7	0,7	0,7	64,25	64,25	0	62,25	40,3	46,5	2,51	0,51	0,12	0,35	0	3,48	0	0	-0,03
Груд.	0,7	0,7	0,7	64,25	64,25	0	62,25	53,7	79	3,34	0,4	0,09	0,38	0	4,22	0	0	0,1

Витратна частина

Місяць	d	lg(d)	lg(E)	E	Etr	VE	Vtr	Vf	Vz	∑R	VD-	Voz-
Січ.	0	0	0	0	0	0	0	0,49	0	0,49	0	0
Лют.	0	0	0	0	0	0	0	0,48	0	0,48	0	0
Берез.	0	0	0	0	0	0	0	0,49	3,85	4,34	0	0
Квіт.	0	0	0	114	0	7,3	0	0,53	15,44	23,26	0	0
Трав.	0	0	0	161	13,97	10,73	0,28	0,62	19,96	31,58	0	0
Черв.	0	0	0	174	45,92	11,77	0,93	0,71	20,61	34,02	0	0
Лип.	0	0	0	254	53,9	17,2	1,09	0,73	18,68	37,71	0	0
Серп.	0	0	0	276	49,91	18,63	1,01	0,64	0,95	21,23	0	0
Вер.	0	0	0	210	59,89	13,44	1,15	0,52	0	15,11	4,64	0
Жовт.	0	0	0	127	5,99	8,02	0,11	0,47	0	8,6	4,62	0
Листоп.	0	0	0	48	0	2,99	0	0,47	0	3,45	0	0

4. Графічне представлення компонентів приходної (рис.5.14) та витратної частин водного балансу (у млн м^3) (рис.5.15) та вклад основних компонентів в водному балансі озера (рис.5.16, рис.5.17).

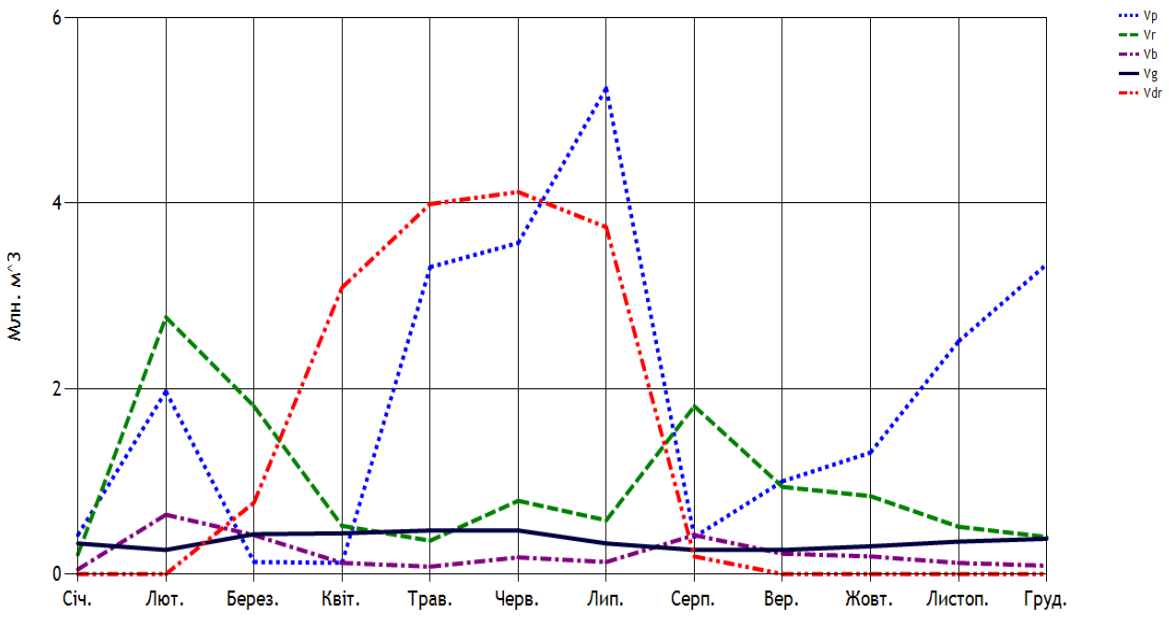


Рисунок 5.14 - Графічне представлення компонентів приходної частини водного балансу озера Катлабух (у млн м^3) у 2020 р.

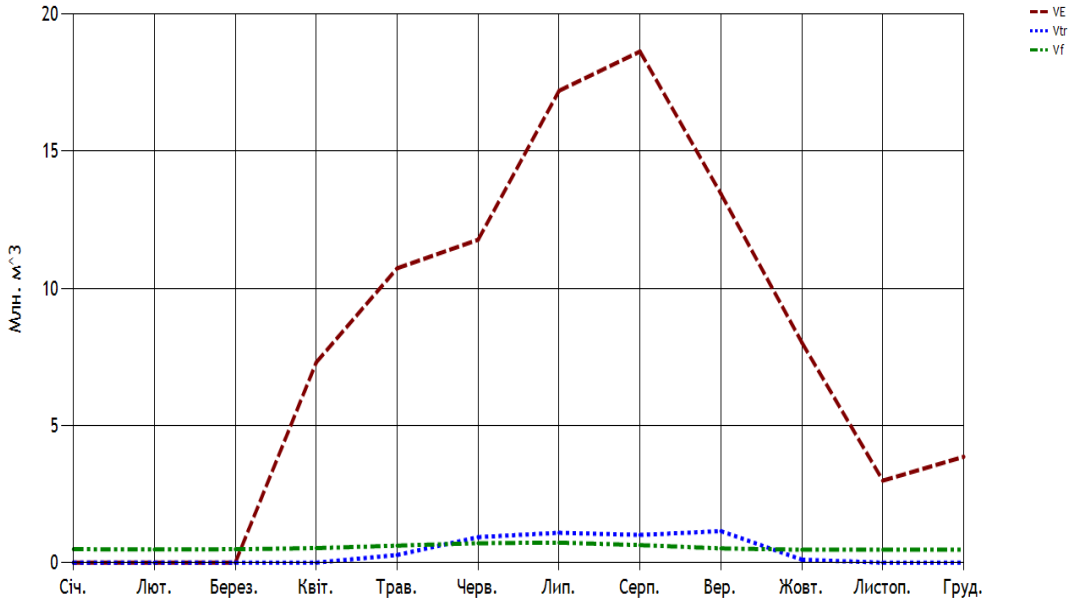


Рисунок 5.15 - Графічне представлення компонентів витратної частини водного балансу озера Катлабух (у млн м^3) у 2020 р.

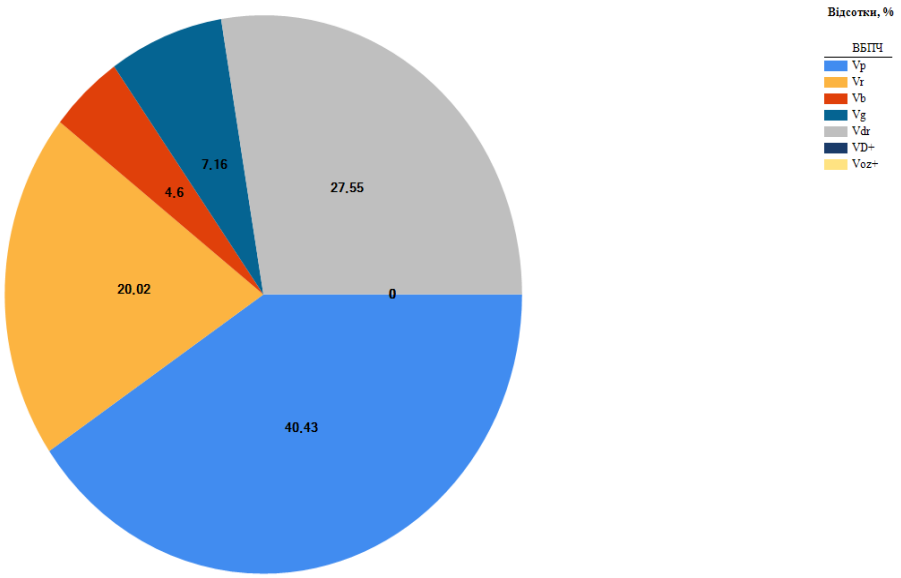


Рисунок 5.16 - Вклад основних компонентів у приходній частині водного балансу озера Катлабух (у %) у 2020 р.

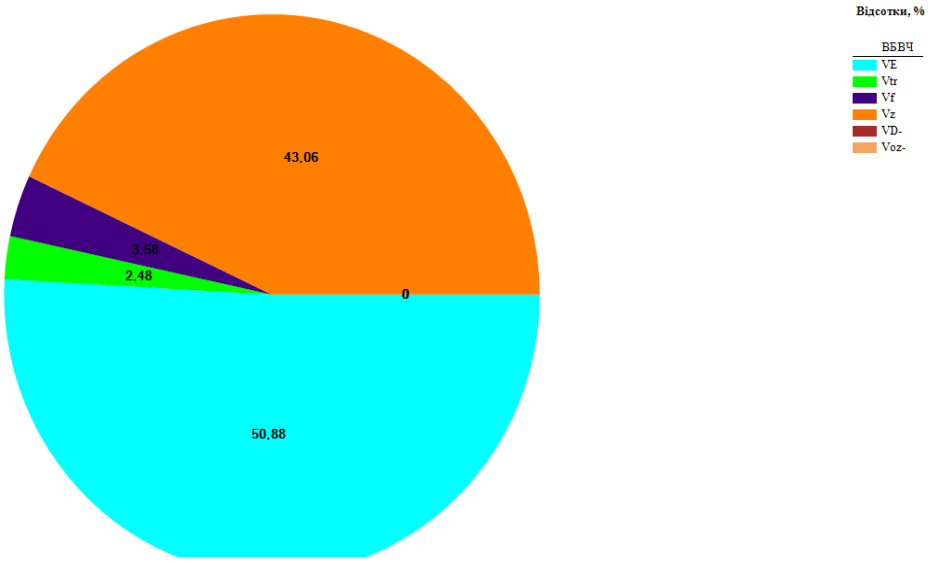


Рисунок 5.17 - Вклад основних компонентів у витратній частині водного балансу озера Катлабух (у %) у 2020 р.

Етапи розрахунків ***сольових балансів*** наступні:

1. Початкова мінералізація для першого місяця розрахункового року приймається кінцева мінералізація для попереднього року.

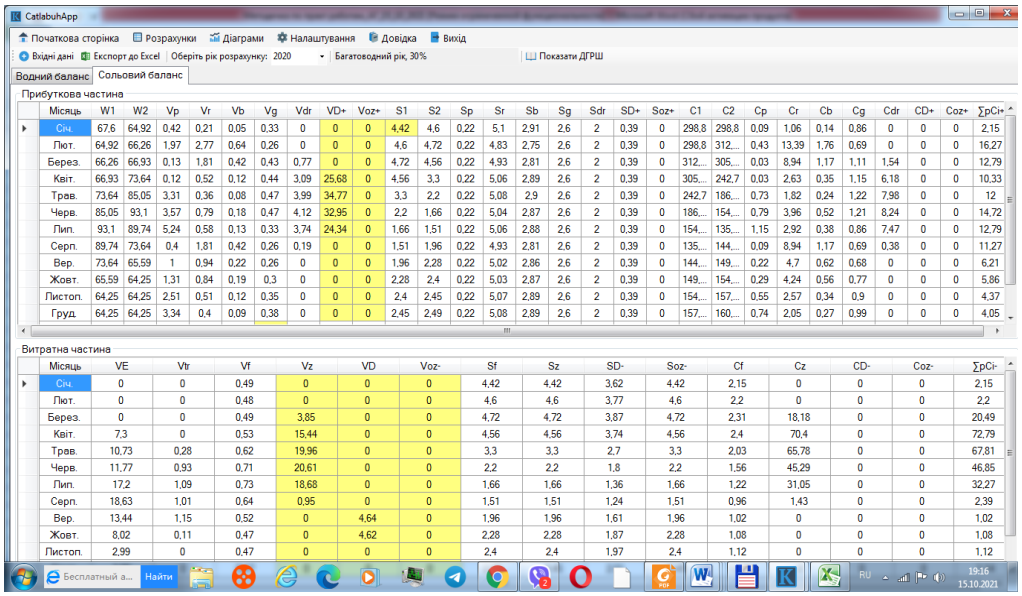
2. На основі рівняння розраховується кінцева мінералізація для першого місяця, яка стає початковою для другого розрахункового місяця.

3. Розрахунок компонентів приходної частини сольового балансу (у 10^3т): C_p - надходження солей з опадами; C_r - надходження солей з поверхневим стоком; C_b - надходження солей з бічним припливом; C_g - надходження солей з ґрунтовими водами; C_{dr} - надходження солей з дренажними водами; C_{D+} - надходження солей з Дунайською водою; C_{oz+} - надходження солей з системи озер Лунг-Сафьян.

4. Розрахунок компонентів витратної частини сольового балансу (у 10^3т): C_f - втрата солей з фільтрацією; C_z - втрата солей на зрошуванні; C_{D-} - скиди води разом із солями у р. Дунай; C_{oz-} - вивід солей з водою на підтримку рівнів води у системі озер Лунг-Сафьян.

Результати розрахунків сольвого балансу озера Катлабух у 2020 р. (за пп.1-4) наведені в табл.5.8.

Таблиця 5.8 - Результати розрахунків сольового балансу озера Катлабух у 2020 р.



Місяць	W1	W2	Vp	Vr	Vb	Vg	Vdr	VD+	Voz+	S1	S2	Sp	Sr	Sb	Sg	Sdr	SD+	Soz+	C1	C2	Cp	Cr	Cb	Cg	Cdr	CD+	Coz+	∑pCi+
Січ.	67,6	64,92	0,42	0,21	0,05	0,33	0	0	0	4,42	4,6	0,22	5,1	2,91	2,6	2	0,39	0	298,8	298,8	0,09	1,06	0,14	0,86	0	0	0	2,15
Лют.	64,92	66,26	1,97	2,77	0,64	0,26	0	0	0	4,6	4,72	0,22	4,83	2,75	2,6	2	0,39	0	298,8	312,...	0,43	13,39	1,76	0,69	0	0	0	16,27
Берез.	66,26	66,93	0,13	1,81	0,42	0,43	0,77	0	0	4,72	4,56	0,22	4,93	2,81	2,6	2	0,39	0	312,...	305,...	0,03	8,94	1,17	1,11	1,54	0	0	12,79
Квіт.	66,93	73,64	0,12	0,52	0,12	0,44	3,09	25,68	0	4,56	3,3	0,22	5,06	2,89	2,6	2	0,39	0	305,...	242,7	0,03	2,63	0,35	1,15	6,18	0	0	10,33
Трав.	73,64	85,05	3,31	0,36	0,08	0,47	3,99	34,77	0	3,3	2,2	0,22	5,08	2,9	2,6	2	0,39	0	242,7	186,...	0,73	1,82	0,24	1,22	7,98	0	0	12
Черв.	85,05	93,1	3,57	0,79	0,18	0,47	4,12	32,95	0	2,2	1,66	0,22	5,04	2,87	2,6	2	0,39	0	186,...	154,...	0,79	3,96	0,52	1,21	8,24	0	0	14,72
Лип.	93,1	89,74	5,24	0,58	0,13	0,33	3,74	24,34	0	1,66	1,51	0,22	5,06	2,88	2,6	2	0,39	0	154,...	135,...	1,15	2,92	0,38	0,86	7,47	0	0	12,79
Серп.	89,74	73,64	0,4	1,81	0,42	0,26	0,19	0	0	1,51	1,96	0,22	4,93	2,81	2,6	2	0,39	0	135,...	144,...	0,09	8,94	1,17	0,69	0,38	0	0	11,27
Вер.	73,64	65,59	1	0,94	0,22	0,26	0	0	0	1,96	2,28	0,22	5,02	2,86	2,6	2	0,39	0	144,...	149,...	0,22	4,7	0,62	0,68	0	0	0	6,21
Жовт.	65,59	64,25	1,31	0,84	0,19	0,3	0	0	0	2,28	2,4	0,22	5,03	2,87	2,6	2	0,39	0	149,...	154,...	0,29	4,24	0,56	0,77	0	0	0	5,86
Листоп.	64,25	64,25	2,51	0,51	0,12	0,35	0	0	0	2,4	2,45	0,22	5,07	2,89	2,6	2	0,39	0	154,...	157,...	0,55	2,57	0,34	0,9	0	0	0	4,37
Груд.	64,25	64,25	3,34	0,4	0,09	0,38	0	0	0	2,45	2,49	0,22	5,08	2,89	2,6	2	0,39	0	157,...	160,...	0,74	2,05	0,27	0,99	0	0	0	4,05

Місяць	VE	Vtr	Vf	Vz	VD	Voz-	Sf	Sz	SD-	Soz-	Cf	Cz	CD-	Coz-	∑pCi-
Січ.	0	0	0,49	0	0	0	4,42	4,42	3,62	4,42	2,15	0	0	0	2,15
Лют.	0	0	0,48	0	0	0	4,6	4,6	3,77	4,6	2,2	0	0	0	2,2
Берез.	0	0	0,49	3,85	0	0	4,72	4,72	3,87	4,72	2,31	18,18	0	0	20,49
Квіт.	7,3	0	0,53	15,44	0	0	4,56	4,56	3,74	4,56	2,4	70,4	0	0	72,79
Трав.	10,73	0,28	0,62	19,96	0	0	3,3	3,3	2,7	3,3	2,03	65,78	0	0	67,81
Черв.	11,77	0,93	0,71	20,61	0	0	2,2	2,2	1,8	2,2	1,56	45,29	0	0	46,85
Лип.	17,2	1,09	0,73	18,68	0	0	1,66	1,66	1,36	1,66	1,22	31,05	0	0	32,27
Серп.	18,63	1,01	0,64	0,95	0	0	1,51	1,51	1,24	1,51	0,96	1,43	0	0	2,39
Вер.	13,44	1,15	0,52	0	4,64	0	1,96	1,96	1,61	1,96	1,02	0	0	0	1,02
Жовт.	8,02	0,11	0,47	0	4,62	0	2,28	2,28	1,87	2,28	1,08	0	0	0	1,08
Листоп.	2,99	0	0,47	0	0	0	2,4	2,4	1,97	2,4	1,12	0	0	0	1,12

3. Графічне представлення компонентів приходної (рис.5.18) та витратної частин сольового балансу (у млн м^3) (рис.5.19) та вклад основних компонентів в водному балансі озера (рис.5.20, рис.5.21).

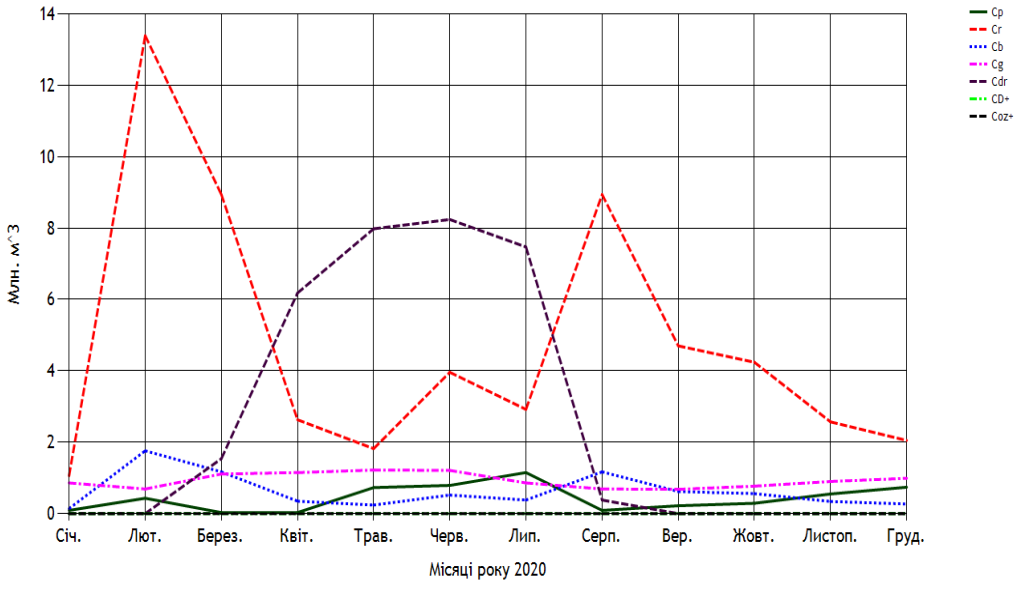


Рисунок 5.18 - Графічне представлення компонентів приходної частини сольового балансу озера Катлабух (у млн м^3) у 2020 р.

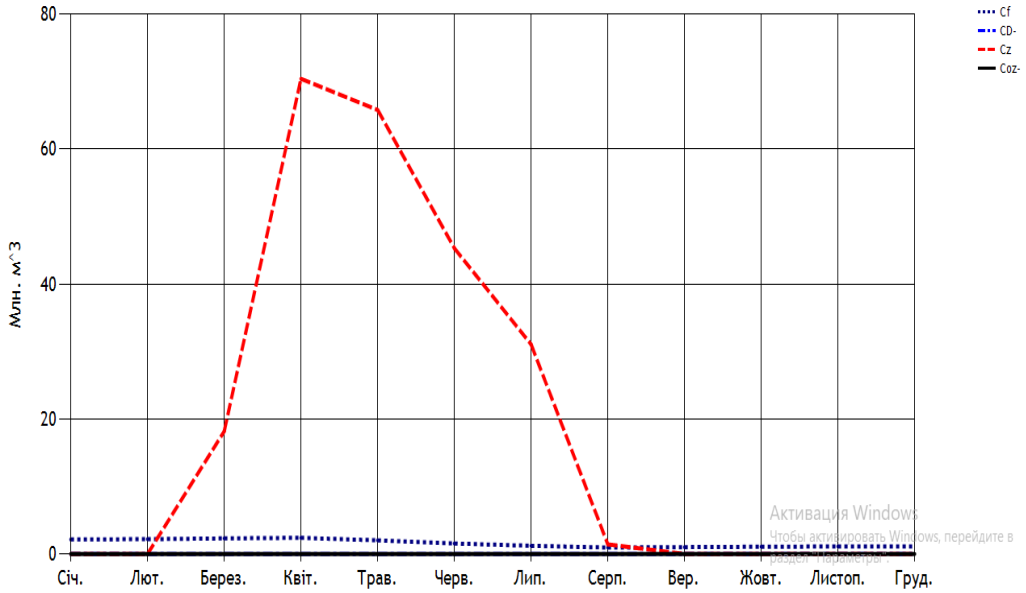


Рисунок 5.19 - Графічне представлення компонентів витратної частини сольового балансу озера Катлабух (у млн м^3) у 2020 р.

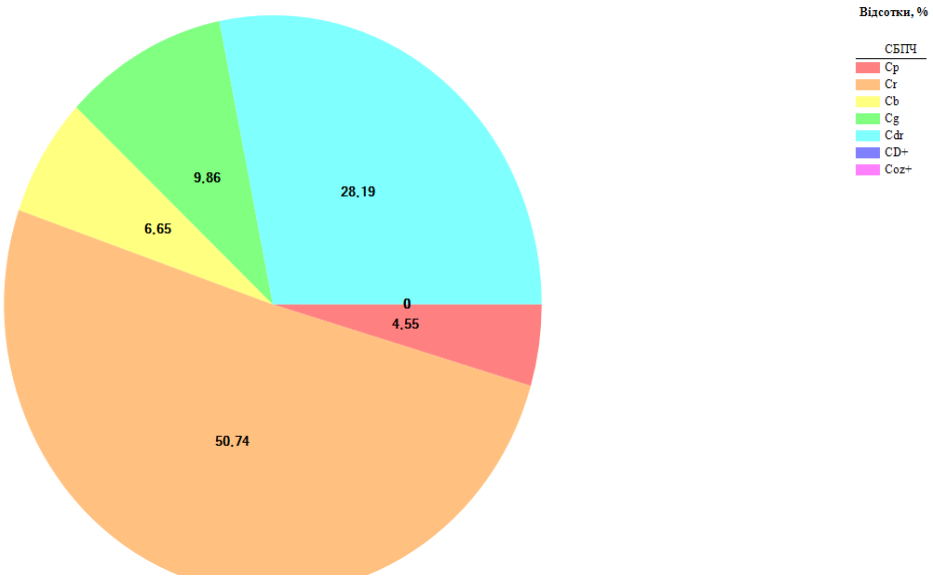


Рисунок 5.20 - Вклад основних компонентів у приходній частині сольового балансу озера Катлабух (у %) у 2020 р.

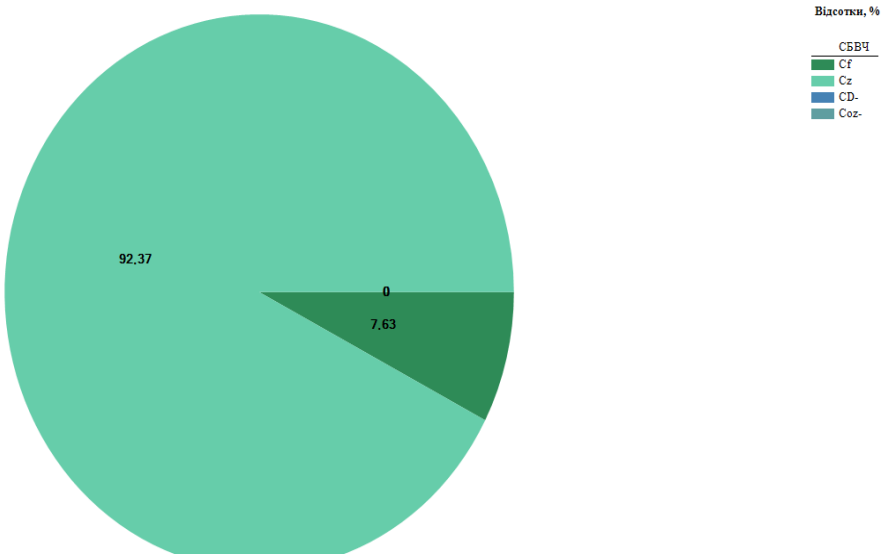


Рисунок 5.21 - Вклад основних компонентів у витратній частині сольового балансу озера Катлабух (у %) у 2020 р.

В результаті виконання роботи визначені складові водного та сольового балансів озера Катлабух у 2020 р.

Результати розрахунків водних балансів у 2020 р. показали, що основний об’єм приходної частини становлять атмосферні опади (40,4%), об’єм річкового припливу та надходження води з р. Дунай дорівнює 20,0%, приплив дренажних вод 27,6%, об’єми ґрунтових вод 7,16%, та бічного припливу 4,6%.

У витратній частині основний об’єм припадає на випаровування та транспірацію (53,5%), об’єми заборів води на зрошування у 2020 році становлять 43,1%, на та фільтрацію становлять 3,6%.

Розрахунки сольового балансу у 2020 р. показали, що у приходній частині надходження солей з поверхневим стоком та води з р. Дунай – становить 50,7%. З дренажними водами 28,2% ґрунтовими водами, бічним припливом, та водами з атмосферних опадів надходить відповідно 9,9%, 6,6%, та 4,6% солей.

У витратній частині втрати солей відбуваються з об’ємами води на зрошування та дорівнюють 92,4%, а втрати солей на фільтрацію становлять 7,63%.

Основні результати практичного прикладу водно-сольового балансу при використанні програмного комплексу «*CatlabuhApp*» (на прикладі 2020 р.) увійшли до «Методичних вказівок по виконанню практичних занять з дисципліни ***«Антропогенна гідрологія***» за темою «Розрахунки водно-сольового режиму Придунайських озер в умовах господарського використання» для студентів спеціальності 103 «Науки про Землю» рівня вищої освіти «Магістр» [44] і використовується в навчальному процесі (Акт використання в навчальному процесі від 13 грудня 2021 р.).

Висновки

В результаті виконання роботи визначені складові водного та сольового балансів озера Катлабух в сучасних умовах водообміну з р. Дунай, надана загальна характеристика та досліджений гідрологічний режим озера Катлабух в умовах його господарського використання. При цьому проаналізовано фізико-географічні, кліматичні, морфометричні, гідротехнічні характеристики озера Катлабух, а також гідрологічний режим річок які його живлять та р. Дунай. При цьому автором зроблені такі основні висновки.

1. Через скорочення масштабів зрошування земель в останні десятиріччя забори води з водосховища Катлабух значно зменшились, а підкачки води з р.Дунай майже припинились. Це призвело до погіршення якості води. Зокрема, мінералізація в оз. Катлабух в останні роки сягає 2,0-3,5 г/дм^3, що у 2-3,5 рази перевищує допустимі норми для питної та зрошувальної води.

2. В результаті аналізу вивченості озера Катлабух встановлено, що спостереження на гідрометричній мережі в районі озера почалися в 40-50 роках минулого століття. Початок вимірювань рівнів води на р.Дунай в створі Кислиці - 1945 рік, на оз.Катлабух - 1962 рік. Спостереження за температурою води в р.Дунай і оз. Катлабух почалися в 1962 році. За гідрохімічними складу озера Катлабух ведуться спостереження з 1970 року.

3. Проаналізовано, що за фізико-географічним районуванням розглядувана територія Придунав'я знаходиться в степовій зоні з ухилом на південь при висотах, які змінюються з півночі і північного заходу від 300 м до 0,0 і - 2,0 м - в заплаві р.Дунай. Геологічна будова території озера неоднорідна, як в плановому положенні, так і по глибині. Спостерігається велика різноманітність типів і мозаїчна структуру поширення ґрунтів і рослинності.

4. Клімат басейну озера, який є визначальним в його гідрологічному режимі поєднує, як помірно-континентальний так і середземноморський. Помітний вплив на клімат регіону надає Чорне море. Вітри, що дмуть з боку Чорного моря, сприяють розсіюванню хмарності і зниження кількості опадів.

Характерною особливістю останніх років (2016-2019 рр.) стало значне підвищення величин місячних сум випаровування (254-267 мм у 2019 р.) на фоні зменшення кількості опадів у цей період особливо у 2018-2019 рр. При цьому рівні води в озері Катлабух значно знизилися.

5. Побудований хронологічний графік ходу середньомісячних рівнів і мінералізації води (за період 1980-2020 рр.) показав, що спостерігається багаторічна тенденція до незначного зниження рівнів води в озері. Багаторічний хід мінералізації води має багаторічні коливання, які пов'язані зі змінами гідротехнічних умов господарського використання озера Катлабух, водністю Дунаю та кліматичними змінами.

Проаналізовано, що катастрофічною стала ситуація у 2019, 2020 роках у зв'язку з низькими рівнями води в р. Дунай коли склалися складні гідрологічні умови та спостерігалося маловоддя на водосховищі Катлабух. Примусове поповнення водосховища водами р.Дунай (з 24 березня 2020 р.) дозволило здійснити водообмін у водосховищі (рівень води виріс з відмітки 0,7 м БС (18.02.2020 р.) до відмітки 1,09 м БС (27.08.2020 р.) та призвело до покращення якості води (мінералізація води зменшилася з 3,0 до 1,87 г/дм^3).

6. Як характеристика гідрологічного і гідрохімічного режиму озера є його водний і сольовий баланси.

6.1 Результати розрахунків водних балансів показали, що основний об'єм приходної частини за 1980-2020 рр. становлять атмосферні опади (35,9%) та надходження води з р. Дунай (42,5%), об'єм річкового припливу дорівнює 8,8%, об'єми вод бічного припливу, ґрунтових та дренажних вод становлять 2,1%, 4,9%, 6,5% відповідно. У витратній частині основний об'єм припадає на випаровування разом з транспірацією (53,0%), об'єми заборів води на зрошування, на скиди води до р. Дунай та фільтрацію становлять 21,1%, 19,4% та 5,8% відповідно.

6.2 При оцінці нев'язок враховувались диспетчерські графіки (відкритий-закритий) роботи шлюзу-регулятору Желявський. Аналізуючи

отримані нев’язки можна впевнено сказати, що у період закритих шлюзів оцінки нев’язок місячних водних балансів озера Катлабух за досліджуваний період, виражені у відсотках від приходної частини балансів не перевищують допустиму нев’язку ±5%.

6.3 Розрахунки сольового балансу показали, що у приходній частині надходження солей з поверхневим стоком становить 42,8%, води з р. Дунай – 35,5%. З ґрунтовими водами, бічним припливом, дренажними та водами з атмосферних опадів надходить відповідно 10,6%, 5,6%, 4,1% та 3,8% солей. У витратній частині втрати солей відбуваються з об’ємами води на зрошування та дорівнюють 45,6%, а також витрачаються на скиди води до р. Дунай – 35,5%, а втрати солей на фільтрацію становлять 18,9%. Спостерігається добра збіжність розрахункових і виміряних значень мінералізації води.

7. В роботі використаний програмний комплекс «*CatlabuhApp*», який дозволяє автоматично розрахувати водно-сольовий режим озера Катлабух, представити у вигляді таблиць та графіків отримані результати – складові балансів озера у часі за різних умов його водогосподарської використання з метою надання практичних рекомендацій щодо приведення озера до належного гідроекологічного стану.

Основний висновок стосується того, що дослідження водно-сольового режиму озера Катлабух дають змогу відповідним службам з економічною вигодою оперативно приймати виробничі рішення щодо гідротехнічного регулювання експлуатаційних режимів водойми та здійснювати природоохоронні заходи щодо підтримки задовільного гідрологічного та гідрохімічного стану озера в сучасних умовах і на перспективу, обґрунтовувати заходи щодо раціонального використання водних ресурсів озера у різних галузях господарства.

Список використаних джерел

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. Описание рек и озер и расчеты основных характеристик их режима. Том 6. «Украина и Молдавия», вып. 1, Западная Украина и Молдавия (без бассейна р. Днестр) / под ред. М.С. Каганера. Ленинград, Гидрометеоиздат, 1978. 491 с.

2. Гидрология дельты Дуная / под. ред. В.Н. Михайлова. Москва: ГЕОС, 2004. 448 с.

3. Гидрология устьевой области Дуная / под ред. Я.Д. Никифорова и К. Дьякону. Москва. Гидрометеоиздат, 1963. 383 с.

4. Дунай и Придунайские водоемы в пределах СССР. Издательство академии наук Украинской ССР. Киев, 1961. 203 с.

5. Правила експлуатації озера Катлабух / Південний науковий центр академії АН України. Регіональний науковий центр з водних проблем «Фобіус». Одесса, 2000. 74 с.

6. «Видение дельты Дуная, Украина». Отчет по Программе WWF по восстановлению водно-болотных угодий// Офис Дунай-Карпатской программы WWF в Вене, Одесский проектный офисом WWF в Украине в сотрудничестве с WWF Нидерладов. Лаборатория менеджмента ветландов (Мелитопольский государственный педагогический университет), 2001-2002 гг. 70 с.

7. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 6. Украина и Молдавия. Вып. 1. Западная Украина и Молдавия / под ред. М.С. Каганера. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1969. 884 с.

8. Природа Одесской области. Ресурсы, их рациональное использование и охрана / под ред. проф. Г.И. Швебса, доц. Ю.А. Амброз. Киев-Одесса: Вища школа. Головное изд-во, 1979. 144 с.

9. Вишневський В.І., Косовець О.О. Гідрологічні характеристики річок України. Київ : Ніка Центр, 2003. 324 с.

10. Гребінь В.В. Сучасний водний режим річок України (ланшафтно-гідрологічний аналіз): монография. Київ: Ніка-Центр, 2010. 316 с.

11. Природа Украинской ССР. Климат / В.Н. Бабиченко, М. Б. Барабаш, К. Т. Логвинов и др. Київ: Наук. думка, 1984. 232 с.

12. Клімат України / за ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. Київ: Видавництво Раєвського, 2003. 234 с.

13. Кліматичний кадастр України (6ч.). Державна гідрометеорологічна служба. К: 2006, електронний ресурс.: climate_cgo@inbox.ru.

14. Агрокліматичний довідник по Одеській області (1986-2005 рр.)/ за ред. В.М. Ситова, Т.І. Адаменко, Одеса, 2011. 190 с.

15. Станко М. І. Загальна характеристика та гідрологічний режим озера Катлабух в умовах його господарського використання. *Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування*: Мат. VIII Міжнародної наукової конференції молодих вчених (26-27 листопада 2020 р., м. Харків). 2020. С. 110-112.

16. Державний водний кадастр. Багаторічні дані про режим та ресурси поверхневих вод суші (за 2011-2015 рр. та весь період спостережень). Частина 1. Річки. Випуск 1. Басейни Західного Бугу, Дунаю, Дністра, Південного Бугу. Довідкове видання. Київ, 2017. 465 с.

17. Yelyzaveta Romanova, Zhannetta Shakirzanova, Valeriya Ovcharuk, Olena Todorova, Iuliia Medvedieva, Andrii Ivanchenko. Temporal variation of water discharges in the lower course of the Danube River across the area from Reni to Izmail under the influence of natural and anthropogenic factors. *Energetika*. 2019. T. 65. Nr. 2-3. Pp. 144-160.

18. Нежиховский Р.А. Гидрологические расчеты и прогнозы при эксплуатации водохранилищ. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1976. 191 с.

19. Гушля А.В., Мезенцев В.С. Воднобалансовые исследования. Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1982. 229 с.

20. Михайлов В.Н., Добровольский А.Д. Общая Гидрология: Учеб. Для геогр. спец. Вузов. Москва: Высш. шк., 1991. 368 с.

21. Гопченко Є.Д, Гушля О.В. Гідрологія суші з основами водних меліорацій: Навч. Посібник. Київ: ІСЛЮ, 1994. 296 с.

22. Водні ресурси та гідроекологічний стан Тилігульського лиману: монографія/ Од. держ. еколог. ун-т; за ред. Ю.С. Тучковенка, Н.С. Лободи. Одеса:ТЕС, 2014. 277 с.

23. Водний режим та гідроекологічні характеристики Куяльницького лиману: монографія/ Од. держ. еколог. ун-т; за ред. Н.С. Лободи, Є.Д. Гопченка. Одеса: ТЕС, 2016. 332 с.

24. Медведєва Ю.С., Гопченко Є.Д., Шакірзанова Ж.Р.Водний і сольовий режими озера Китай: монографія; ОДЕКУ. Одеса: ТЕС, 2018. 136 с.

25. Романова Є.О., Шакірзанова Ж.Р., Гопченко Є.Д., Медведєва Ю.С. Водний та сольовий баланси озера Катлабух за різних умов експлуатації водойми. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2019. № 4(55). С. 23-40.

26. Алекин О. А. Основы гидрохимии. Гидрометеорологическое издательство. Ленинград, 1970. 444 с.

27. Frolov A. V., Vyruchalkina T. Yu., and Sarkisyan S. G. Modeling Water and Salt Balance of Bol’shoe Yashaltinskoe Lake, Water Resources, 2018, Vol. 45, No. 3, Pp. 318–325.

28. Yusufujiang Rusuli, Lanhai Li, Sajjad Ahmad, Xin Zhao, Dynamics model to simulate water and salt balance of Bosten Lake in Xinjiang, China, Environmental Earth Sciences, 2015, Pp.2499–2510.

29. Okongu J. R., Sewagudde S. M. Mngodo R. J., Sangale F. D., Mwanuzi F. L. and Hecky R. E . Water balance of Lake Victoria, Lake Victoria Environmental Management Project, 2018. Pp.25-41.

30. Mahmoud M. A. Elgamal, Kassem S. El-Alfy, Mohamed G. M. Abdallah, Fahmy S. Abdelhaleem and Ahmad M. S. Elhamrawy, Restoring Water and Salt Balance of Qarun Lake, Fayoum, Mansoura University Faculty of Engineering Mansoura Engineering Journal, Egypt. , vol.42. 2017. Pp.1-13.

31. Guide to hydrological practices. Data acquisition and processing, analysis, forecasting and other applications. World meteorological organization (WMO). No. 168. Fifth edition 1994. 770 p.

32. James L. Bischoff, Isabel Israde-Alcantara, Victor H. Garduno-Monroy, Wayne C. Shanks III, The springs of Lake Pátzcuaro: Chemistry, salt-balance, and implications for the water balance of the lake / Applied Geochemistry 19 (2004), Pp. 1827–1835.

33. Шакірзанова Ж.Р., Романова Є.О. Водний і сольовий режими озера Катлабух: монографія. Одеса: Одеський державний екологічний університет, 2021. 336 с. ISBN 978-966-186-167-0

34. Гопченко Е.Д., Лобода Н.С. Водные ресурсы Северо-Западного Причерноморья (в естественных и нарушенных антропогенной деятельностью условиях): монография. Київ: КНТ, 2005. 192 с.

35. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1984. 448 с.

36. Станко М.І. Водно-сольовий режим озера Катлабух. *Матеріали XX наукової конференції молодих вчених Одеського державного екологічного університету*, 26-30 квітня. Одеса: ОДЕКУ. 2021. С. 65-66.

37. Бефани А.Н. Пути генетического определения нормы стока. *Научный ежегодник ОГУ*. Одесса, 1957. 125 с.

38. Пелешенко В.І., Хільчевський В.К. Загальна гідрохімія. Київ : Либідь, 1997. 382 с.

39. Хільчевський В.К., Осадчий В.І., Курило С.М. Регіональна гідрохімія України: підручник. ВПЦ "Київський університет", 2019. 343 с.

40. Шакірзанова Ж. Р., Романова Є. О., Станко М. І. Сучасні методи та технології гідрометеорологічних досліджень Придунайських водойм для забезпечення сталого водокористування в умовах зміни клімату. *Матеріали другого всеукраїнського гідрометеорологічнго з'їзду*. Одеса: ОДЕКУ. С. 107-108.

41. Станко М.І. Оцінка якості води озера Ялпуг. *Матеріали XIX наукової конференції молодих вчених Одеського державного екологічного університету, 26-30 квітня*. Одеса: ОДЕКУ. 2021. С. 70-71.

42. Станко М. І. Водний і сольовий баланси озера Катлабух в сучасних умовах водообміну з р. Дунай. *Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування*: Мат. IX Міжнародної наукової конференції молодих вчених (25-26 листопада 2021 р., м. Харків). 2021. С.55-57.

43. Ліхачов К.Д., Романова Є.О., Шакірзанова Ж.Р. Розробка програмного комплексу для розрахунку водного і сольового балансів озера Катлабух. *Матеріали доповідей VI Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології та взаємодії»*, 20 грудня 2019 р. м. Київ. С. 145-150.

44. Методичні вказівки по виконанню практичних занять з дисципліни «Антропогенна гідрологія» за темою «Розрахунки водно-сольового режиму Придунайських озер в умовах господарського використання» для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 103 «Науки про Землю» ОП «Гідрологія та комплексне використання водних ресурсів», РВО Магістр; укладачі: Шакірзанова Ж.Р., Мирза К.Л., 45 с.