

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-науковий
гідрометеорологічний інститут
Кафедра гідрології суші

Кваліфікаційна робота магістра

на тему: **Визначення випаровування з водної поверхні водойм в межах степової зони України (на прикладі озера Катлабух)**

Виконав магістр 2-го року навчання _____
групи МЗГ-22 _____
спеціальності 103 «Науки про Землю»
освітньо-професійної програми
«Гідрологія і комплексне використання
водних ресурсів»
Бовдуй Віктор Володимирович
Керівник д-р геогр. наук, професор
Шакірзанова Жаннетта Рашидівна

Консультант _____

Рецензент д-р ек. наук, професор
Сербов Микола Георгієвич _____

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

Т.в.о. завідувач кафедри гідрології суші
д-р геогр. наук, проф. **Овчарук В.А.**
“ 23 ” жовтня 2023 року

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

студенту Бовдюю Віктору Володимировичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Визначення випаровування з водної поверхні водойм в межах степової зони України (на прикладі озера Катлабух)

керівник роботи д-р геогр. наук, професор Шакірзанова Жаннетта Рашидівна

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

затверджені наказом ОДЕКУ від “ 16 ” жовтня 2023 року № 215«С»

2. Строк подання студентом роботи 10.12.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи щорічні дані характеристик снігового покриву, опадів, глибини промерзання ґрунту, температури повітря, гідрографічні та морфометричні характеристики території.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити 1. Стисла фізико-географічна характеристика озера Катлабух. 2. Гідрологічна вивченість і особливості водного режиму озера Катлабух. Водогосподарська діяльність. 3. Методи визначення випаровування з водної поверхні водойм. 4. Визначення випаровування з водної поверхні складової рівняння водного балансу водойми Катлабух. 5. Використання автоматизованого програмного комплексу для розрахунку випаровування з водної поверхні 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; мінливість об'ємів річних сум випаровування, транспірації, хронологічні графіки ходу випаровування і транспірації з водної поверхні озера, діаграми складових водного балансу.

6. Консультанти розділів роботи

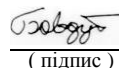
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 23.10.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	Вступ. Стисла фізико-географічна характеристика озера Катлабух	23.10. 2023 р.- 27.10.2023 р.	70	задов.
2	Гідрологічна вивченість і особливості водного режиму озера Катлабух. Водогосподарська діяльність.	28.10. 2023 р.- 3.11.2023 р.	78	добре
3	Методи визначення випаровування з водної поверхні водойм	4.11. 2023 р.- 7.11.2023 р.	75	добре
4	Визначення випаровування з водної поверхні складової рівняння водного балансу водойми Катлабух	8.11. 2023 р.- 16.11.2023 р.	70	задов.
	Рубіжна атестація	13 -17.11.2023 р.	60%	
5	Узагальнена багаторічна оцінка складової випаровування з водної поверхні водойми	17.11. 2023р.- 23.11.2023 р.	70	задов.
6	Використання автоматизованого програмного комплексу для розрахунку випаровування з водної поверхні озера Катлабух	24.11. 2023 р.- 30.11.2023 р.	70	задов.
7	Висновки	01.12. 2023 р.- 7.12.2023 р.	70	задов.
	Перевірка роботи на плагіат, підписання авторського договору	8.12- 10.12.2023 р.		
	Підготовка доповіді, презентації	11.12- 15.12.2023 р.		
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		72	задов.

Студент


 (підпис)

Бовдуй В.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


 (підпис)

Шакірзанова Ж.Р.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота магістра гр. МЗГ-22 Бовдуя Віктора Володимировича за темою: «Визначення випаровування з водної поверхні водойм в межах степової зони України (на прикладі озера Катлабух)»

Актуальність теми. Для невеликих водойм посушливих регіонів України, втрати води на об'єми випаровування з їх водної поверхні можуть відігравати суттєву роль. Тому для ефективного управління водними ресурсами таких водойм і озер є кількісна оцінка випаровування і опадів, як складових водного балансу в їх гідрологічному режимі.

Мета і задачі дослідження. Проаналізувати гідрологічний режим озера Катлабух, фізико-географічні, морфометричні, гідротехнічні характеристики озера, описати методи та визначити величину випаровування з водної поверхні озера як складову його водного балансу.

Об'єкт та предмет дослідження – гідрологічний режим озера Катлабух та визначення випаровування з його водної поверхні.

Методи дослідження. Методи визначення випаровування з водної поверхні водойм, розрахунки об'ємів опадів та випаровування у водному балансі озера.

Результати, їх новизна, теоретичне та практичне значення: використана методика розрахунку водних балансів, яка у вигляді програмного комплексу «*CatlabuhApp*» реалізована автором (за період 1980 і 2020 роках) для автоматизації розрахунків об'ємів опадів та випаровування з 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 – 65

Кількість рисунків – 30

Кількість таблиць – 10

Кількість літературних джерел – 27

Ключові слова: озеро Катлабух, водний баланс, об'єми опадів та випаровування.

SUMMARY

Master's qualification work of a student gr. MZG-22 Bovdvi Viktor Volodimirovich on the topic: "Determination of evaporation from the water surface of reservoirs within the steppe zone of Ukraine (on the example of Katlabukh Lake)"

Actuality of theme. For small reservoirs in arid regions of Ukraine, water losses due to evaporation from their water surface can play a significant role. Therefore, for the effective management of water resources of such reservoirs and lakes, there is a quantitative assessment of evaporation and precipitation as components of the water balance in their hydrological regime.

The purpose and objectives of the research. To analyze the hydrological regime of Lake Katlabukh, physico-geographic, morphometric, hydrotechnical characteristics of the lake, describe the methods and determine the amount of evaporation from the water surface of the lake as a component of its water balance.

The object and subject of the research is the hydrological regime of Katlabukh Lake and the determination of evaporation from its water surface.

Research methods. Methods of determining evaporation from the water surface of reservoirs, calculations of precipitation volumes and evaporation in the water balance of the lake. The results, their novelty, theoretical and practical significance: the method of calculating water balances was used, which was implemented by the author in the form of the "CatlabuhApp" software complex (for the period of 1980 and 2020) to automate the calculation of precipitation volumes and evaporation from Katlabukh Lake (with a time step one month and when determining the components of balance equations).

Recommendations on the use of the results of the work with an indication of the field of application: units of the State Water and Agricultural Service 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 the Odesa State Ecological University.

Structure and scope of work:

Number of pages - 65

Number of drawings - 30

Number of tables - 10

Number of literary sources – 27

Key words: Katlabukh Lake, water balance, precipitation and evaporation.

ЗМІСТ

	Вступ.....	8
1	Стисла фізико-географічна характеристика озера Катлабух.....	10
	1.1 Географічне положення.....	10
	1.2 Геологічна будова і рельєф.....	11
	1.3 Характеристика ґрунтового і рослинного покриву.....	13
	1.4 Коротка кліматична характеристика.....	19
	1.5 Гідрологічна вивченість і особливості водного режиму озера Катлабух.....	25
	1.6 Водогосподарська діяльність.....	29
2	Методи визначення випаровування з водної поверхні водоєм.....	30
	2.1 Загальні положення.....	30
	2.2 Метод водного і теплового балансу.....	31
	2.3 Методи розрахунку випаровування за метеорологічними елементами.....	32
	2.4 Закордонні і сучасні методи визначення випаровування.....	38
3	Визначення об'ємів опадів та випаровування з поверхні озера Катлабух у його водному балансі.....	42
	3.1 Структура рівняння водного балансу озера.....	42
	3.2 Розрахунок об'ємів опадів і випаровування з водної поверхні озера.....	44
	3.3 Розрахунок об'ємів води на транспірацію водною рослинністю..	49
	3.4 Загальна оцінка складових у водних балансах.....	51
	3.5 Розрахунок складових водного балансу озера Катлабух за комп'ютерним комплексом.....	53
	3.5.1 Загальні положення комп'ютерного комплексу « <i>CatlabuhApp</i> »	53
	3.5.2 Порядок розрахунків у комп'ютерному комплексі « <i>CatlabuhApp</i> ».....	54

3.5.3 Узагальнена багаторічна оцінка складових опадів та випаровування у програмному комплексі « <i>CatlabuhApp</i> » для озера Катлабух.....	59
Висновки.....	61
Список використаної літератури.....	63

ВСТУП

Актуальність теми. Випаровування є одним з головних процесів в гідрологічному режимі при даній кількості опадів і важливою складовою витратної частини у рівнянні водного балансу. Для невеликих водойм посушливих регіонів України, до яких відносяться прісні озера Придунав'я, втрати води на об'єми випаровування з їх водної поверхні можуть відігравати суттєву роль. Прісні води озер використовуюся на водопостачання населення і сільського господарства. Тому для ефективного управління водними ресурсами таких водойм і озер є кількісна оцінка випаровування і опадів, як складових водного балансу в їх гідрологічному режимі.

Мета і задачі дослідження. При аналізі гідрологічного режиму озера Катлабух дослідити природні умови формування водного режиму озера, гідротехнічні характеристики озера, описати методи та визначити величину випаровування з водної поверхні озера як складову його водного балансу.

Об'єкт дослідження – гідрологічний режим озера Катлабух.

Предмет дослідження – визначення об'ємів опадів та випаровування з поверхні води озера Катлабух.

Методи дослідження. Методи розрахунку випаровування з поверхні води водойм, розрахунки об'ємів випаровування у водному балансі озера.

Практичне значення одержаних результатів полягає у використанні за даними БУВР річок Причорномор'я та нижнього Дунаю комп'ютерної програми «*CatlabuhApp*» для прискорення визначення складових водного балансу озера Катлабух (з часовим шагом один місяць) у підрозділах Держводгоспу у Придунайському регіоні України.

Напрямок роботи автора відповідає науково-дослідній тематиці кафедри гідрології суші ОДЕКУ «Гідрологічний і гідрохімічний режими річок України в сучасних умовах водокористування і зміни клімату», номер реєстрації № ДР 0123U101578 (термін виконання: 2023- 2027 рр.).

Апробація результатів – основні результати представлені на наукових студентських семінарах кафедри гідрології суші та на науковій конференції молодих вчених ОДЕКУ у 2023 р. Підготовлено доповіді з презентацією та тези конференції.

Публікації.

1. Докус А.О., Антонов Д.Я., **Бовдуй В.В.** Водний баланс річкових водозборів рівнинних річок. *Тези XVIII Всеукраїнської наукової on-line конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених з міжнародною участю «Сучасні проблеми екології»*, 06 жовтня 2022 року. Житомир : Житомирська політехніка, 2022. С. 72.

2. Шакірманова Ж.Р., Скороход Д.П., **Бовдуй В.В.** Визначення випаровування з поверхні водойм посушливого регіону Придунав'я. *Матеріали XV міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми екології та енергозбереження»*, 21-22 вересня. Миколаїв, 2023. С. 85-89.

<http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/12057>

Оригінальність роботи за [Uncheck](#) становить – 90%.

1 СТИСЛА ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ОЗЕРА КАТЛАБУХ

1.1 Географічне положення

Озеро Катлабух розташовано в степовій зоні України в межах Одеської області на території Ізмайльського району та відноситься до системи Придунайських озер (рис.1.1). Озеро є регульовану водоюму [1, 2].

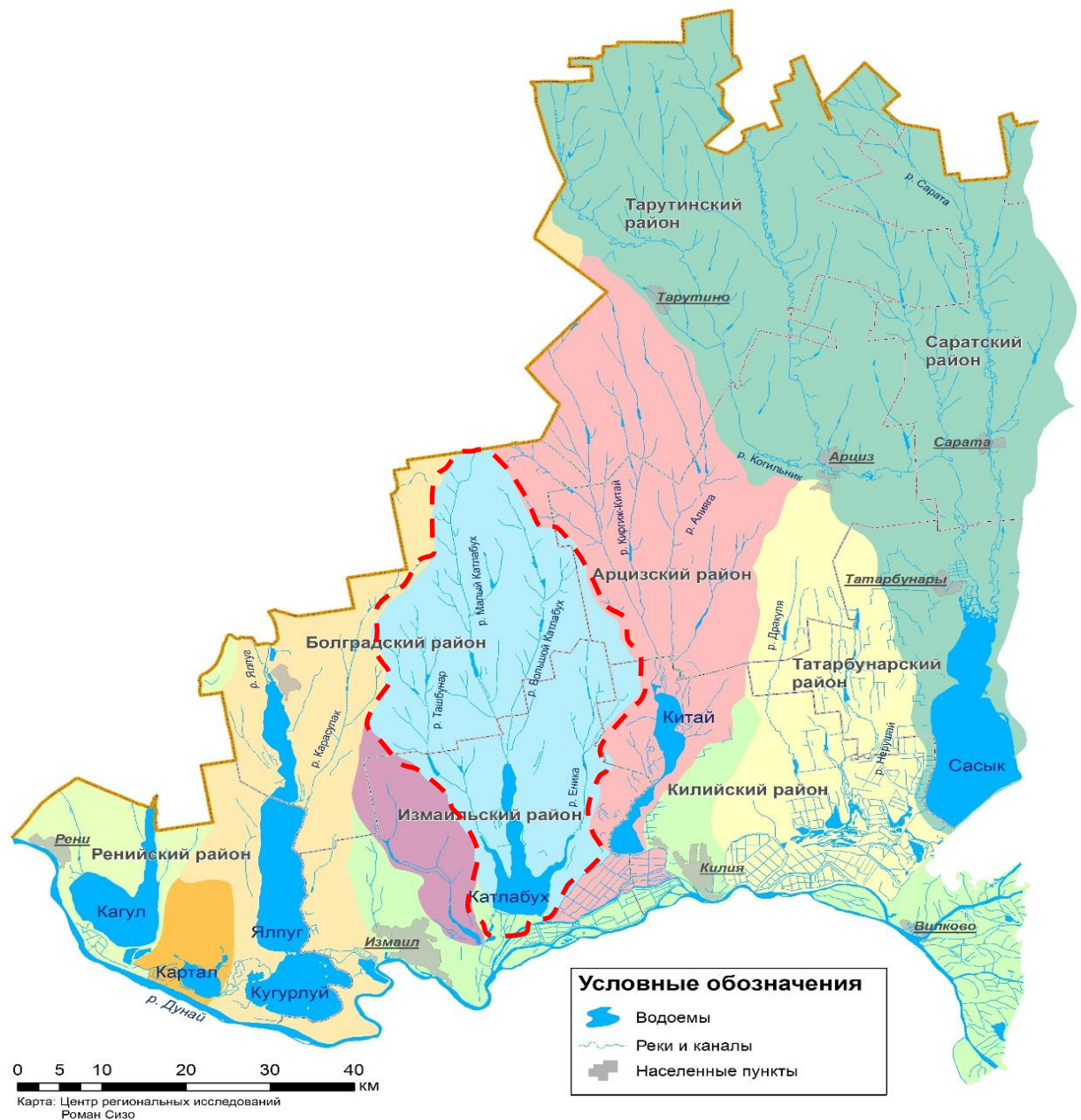


Рис. 1.1 – Схема розташування басейну оз. Катлабух / Електронний ресурс, географічні карти України: <http://geomap.land.kiev.ua/>

Озеро Катлабух з'єднано з р. Дунай Желявським каналом, через каскад: «Суспільний» канал, в водосховище Саф'ян, далі озеро Лунг. Озеро відокремлюється захисною дамбою від плавнів та комплексу Лунг-Саф'ян, яку у літній період відкривають для наповнення. В озеро Катлабух впадають маловодні невеликі степові річки В.Катлабух, Ташбунар та Єніка.

Озеро Катлабух відноситься до прісноводних водосховищ. Його площа складає – 6850 га. Площа мілководій – 2900 га. Максимальна глибина – 2,7 м.

У складі гідротехнічних споруд озера Катлабух входить шлюз регулятор „Желявський”, канал «Желявський», шлюз „Громадський”, канал «Громадський». НІР озера Катлабух - 1,7 мБС. РМО озера Катлабух - 0,7 мБС. Ємкість озера при НІР – 131,0 млн.м³. Корисна ємкість – 68,5 млн.м³.

1.2 Геологічна будова і рельєф

Геоморфологічні умови Придунайського регіону визначаються його положенням в межах з'єднання Східно – Європейської тектонічної платформи і Скіфської тектонічної плити [2, 3].

У породах фундаменту це виявляється в системі палеозойських грабенів і зони виступів верхньо-протерозойсько і палеозойського фундаменту. Система грабенів розглядається як зона стику двох плит. Район розташований в межах структури так званого Преддобруджінського прогину. У геологічній будові Придунайського регіону беруть участь докембрійські, палеозойські, мезозойські і кайнозойські відкладення.

Озеро Катлабух відноситься до мілководих придунайських озер з середньою глибиною 1.92 м та за класифікацією О.О.Алекіна [4] – до солонуватих.

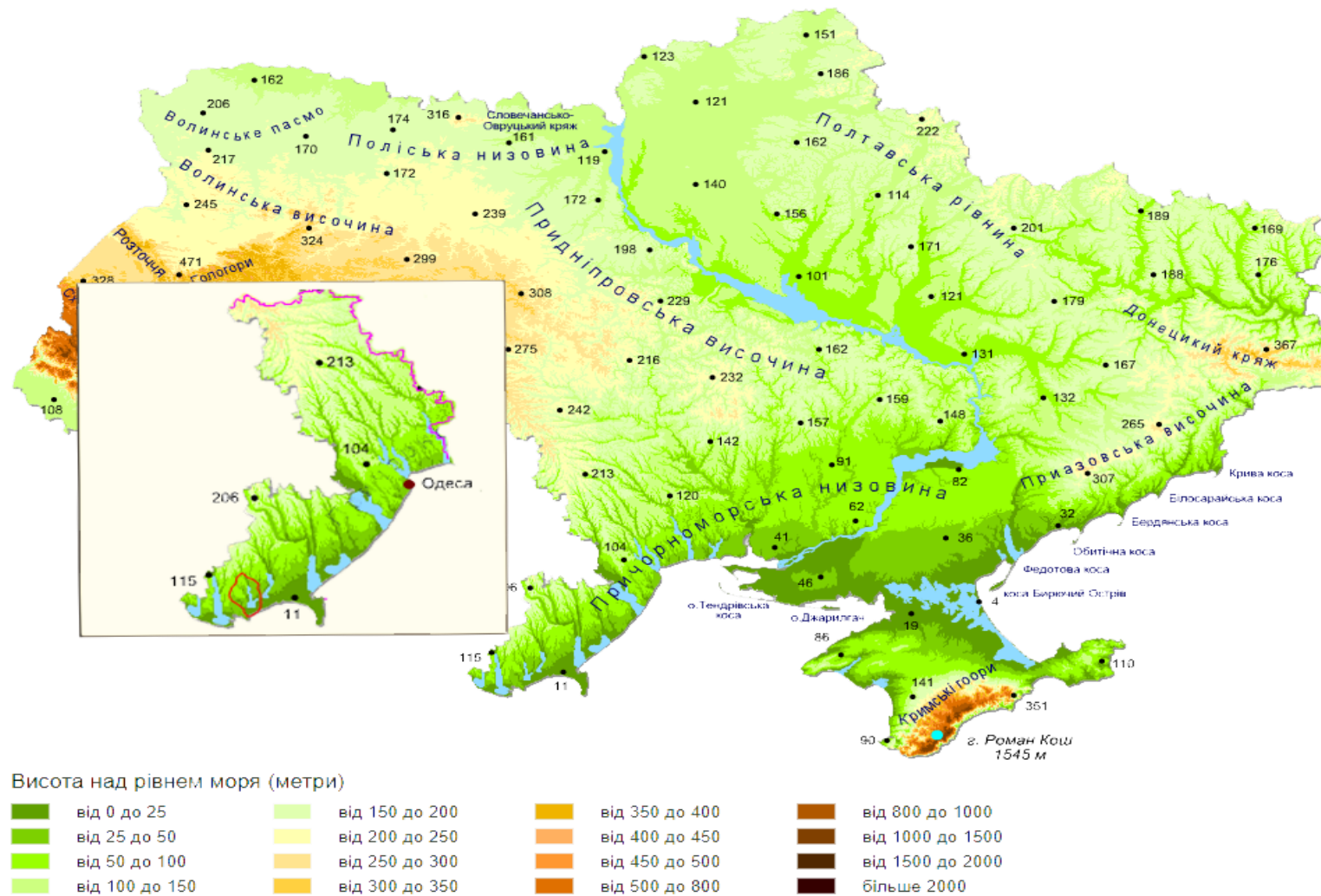


Рис. 1.2 – Фізико-географічна карта України, з виділеним басейном озера Катлабух / Електронний ресурс, географічні карти України: <http://geomap.land.kiev.ua/>

У південній частині озера береги знижені, зарослі очеретом, від с. Багате до гирлової частини каналу Желявський озеро відокремлене від р. Дунай захисною греблею. Занурена рослинність розповсюджена смугою до 150 м від урізів води.

Східна ділянка берега від с. Кислиці до гирла р. Єника підвищена, висота берегового схилу складає від 3 до 6 метрів. Уздовж берегової лінії виростає очерет шириною до 100 м. У районі с. Кислиці абразійні процеси припинилися після проведення у 1982-83 і 1988-89 роках берегозакріплених робіт. Балочна-яругова мережа практично відсутня. Південніше с. Першотравневе береги знижені і виположені, на північ знову підвищуються а у смт. Суворово висота обриву досягає 20 м. Схили на окремих ділянках підлеглі до обвалення і утворення обвальних терас.

У північній частині озера (гирло р. В. Катлабух) є ділянки акумуляції річкових наносів і продуктів переробки берегів.

Західний берег до гирла р. Ташбунар в основному виположений, з висотою кліфа до 6-ти метрів, на задернованих схилах є слабкорозвинена балочно-яругова мережа. У 1982-83 рр. у селі Багате виконані роботи по зміцненню берегів, после чого процеси берегообрушення припинилися.

Площа мілководій озера складає біля 25 км². Мілководдя практично повсюдно поросли очеретом. Смуга очеретів шириною 40-100 м починається у птахоферми с.Кислиці і тягнеться на північ по периметру озера. Південний берег озера уклинюється в Дунайські плавні, які також поросли очеретом.

1.3 Характеристика ґрунтового і рослинного покриву

Відповідно до особливостей будови поверхні (рельєф, геологічна будова) і кліматичних умов ґрунторослинний склад басейну Дунаю відрізняється значною різноманітністю. Найпоширенішими видами ґрунтів на рівнинах є родючі лесові ґрунти, що нагадують по зовнішньому вигляду російський чорнозем, і каштанові ґрунти степу (рис.1.3).

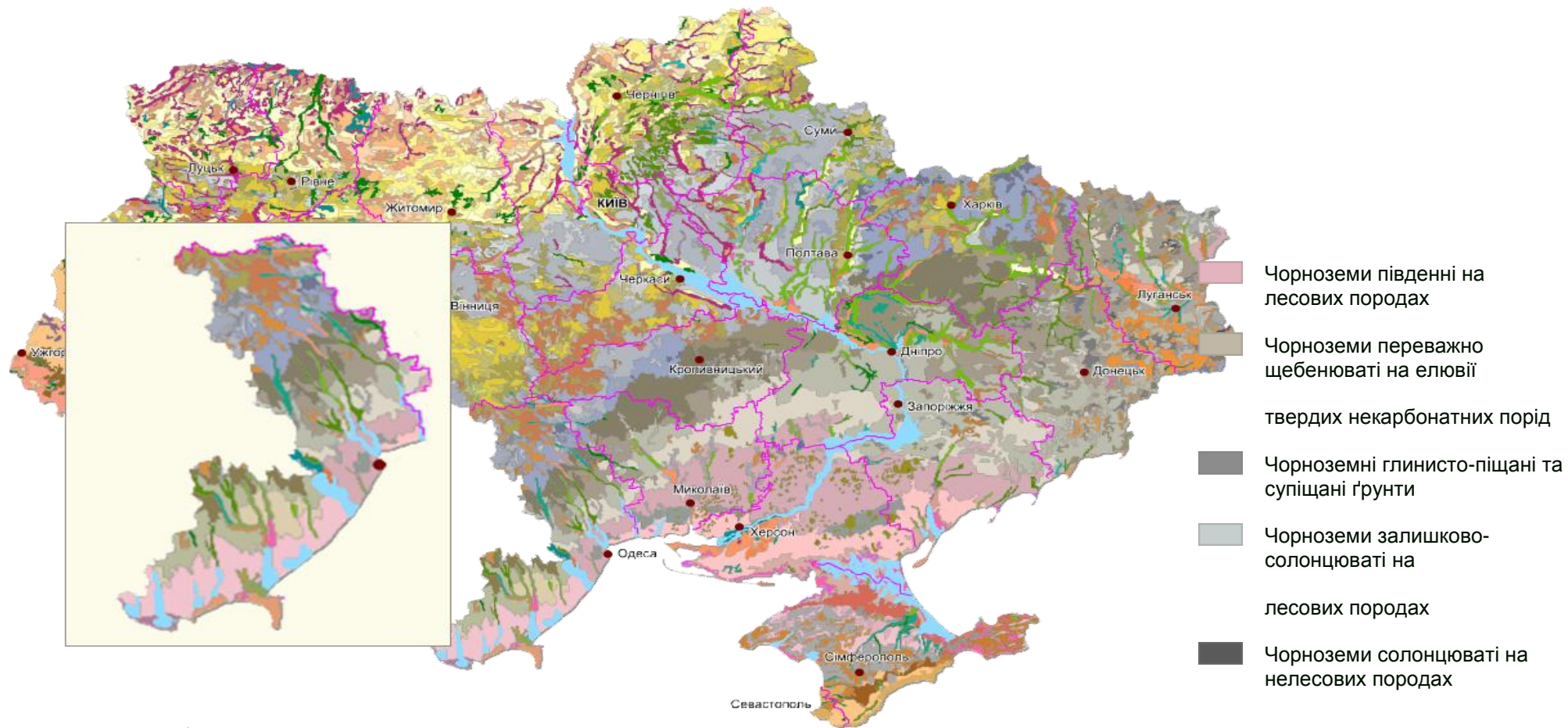


Рис. 1.3 – Ґрунтовий покрив України, басейн озера Катлабух / Електронний ресурс, географічні карти України:

<http://geomap.land.kiev.ua/>

Головні особливості формування ґрунтового покриву в дельті Дунаю наступні:

1) різноманітність форм рельєфу, достаток вологи і змінний режим затоплення земель визначають дуже велику різноманітність типів і мозаїчність їхнього поширення;

2) найбільш сприятливі умови – це природні прируслові гряди (вали) і підвищені частини дельти;

3) джерелами збагачення ґрунтів гумусом і органічною речовиною виконується за рахунок великої кількості рослинності.

Існує кілька різних класифікацій ґрунтів дельти Дунаю. Відповідно до першого з них, ґрунти дельти підрозділяються на п'ять типів: очеретяні плавні, у тому числі плаур (кобли, сплавини) - плаваючі очеретяні острови на дельтових озерах; озерно-болотні; алювіальні; каштанові; чорноземи.

По другій класифікації, яка використовується в практиці сільськогосподарського освоєння дельти Дунаю, виділяються п'ять інших типів ґрунту: алювіально - дернові, лугові, лугово-болотисті, солончакові.

Господарська діяльність людини є потужним чинником сучасного ґрунтоутворення і перетворення вихідних ґрунтів в умовах басейну. Практично повна експлуатація регіону зумовив розвиток цілого ряду деградаційних ґрунтових процесів - ерозії, дегуміфікації, розпилення агрономічно-коштовної структури і ущільнення верхніх горизонтів профілю. Ґрунтово-екологічну ситуацію посилює і широкомасштабне іригаційне будівництво в регіоні, починаючи з 60-70-х років минулого століття. Використання для поливу на ряду зрошувальних систем іригаційно неякісних вод з верхньої і середньої частини Придунайських озер зумовило розвиток процесів дезагрегації – ущільнення ґрунтів і їх вторинне осолонцювання.

Основною ґрунтоутворюючою породою на цій території є леси і лесовидні суглинки буро-палевого кольору - високопористі, карбонатні. Виразно просліджується тенденція до полегшення гранулометричного складу порід на південь обстеженої території – від суглинків важких в межах

вододільної рівнини до суглинків середніх в межах Придунайської терасної рівнини. Для даної території характерні не засолені породи, тобто сума солей менша 0,1% та рН 7,6-8,1. Проте, на зрошувальній частині території спостерігається підвищення засоленості у 2-3 рази (до 0,12-0,20%), а ніж на незрошувальній частині. Таке зростання відноситься до верхньої та середньої частин Придунайських озер.

Грунтовий фон в регіоні створюють чорноземи звичайні і чорноземи південні, в межах Придунайської рівнини і на південному заході вододільної рівнини - виключно міцелярно - карбонатні. Чорноземи регіону відрізняються високою біологічною активністю, що сприяє мінералізації органічних речовин, добре вираженою і міцною "копрогенною" структурою, високою пористістю (до 50-55%) і хорошою водопроникністю (коефіцієнт фільтрації 1,5-3,5 мм/хв). По гранулометричному складу чорноземи звичайні важкосуглинні, на південь склад декілька полегшується, і в межах терасної рівнини домінують середньосуглинні різновиди чорноземів південних. Початково чорноземи не засолені до глибини 5-7 м-кодів, а часто і глибше.

Аналіз показав, що вміст гумусу у верхньому горизонті та його потужність зменшується з півночі на південь території басейну озера. При зрошуванні чорноземів регіону, особливо водою з озера, зменшується вміст обмінного кальцію і зростає доля магнію і натрію, що дозволяє класифікувати такі чорноземи як повторно (або ж іригаційно) осолонцьовані.

Для досліджувальної території характерні ґрунти – чорноземи з низьким живильним режимом, тобто на рівні низько-середніх мір забезпеченості вмістом азоту, фосфору та калію доступних для рослин. Це пояснюється, незадовільним рівнем вживання органічних і мінеральних добрив в останнє десятиліття, а також гранулометричним і мінералогічним складом, високою карбонатністю і низькою гумусованістю цих ґрунтів.

Рослинний покрив басейну озера Катлабух (рис.1.4) включає в себе сільськогосподарські землі на місці типчаково-ковилових степів, а також заплавні землі і місця в поєднанні з лісами, чагарниками, болотами і

сільськогосподарськими землями, заплавні солонцюво-солончакові землі в поєднанні з сільськогосподарськими землями.

Значний вплив на флору та фауну української частини Дунаю та Придунайських озер здійснює особливості гирлової області, а саме вища вода та прибережна рослинність.

Екосистема озера Катлабух зазнає вагомого антропогенного впливу на його акваторію та басейн. Наприкінці 50-х років в інтересах землеробства і рибного господарства почалося відокремлення водоймища від Дунаю, завершене в основному в 60-ті роки. Таким чином, прямий зв'язок з річкою був порушений і озеро перетворено в наливне водосховище з регулюючими рівнями. В зимово-весняні місяці воно наповнюється, потім йде спрацювання рівня. Значні зміни відбулися на площі водозбору: більш ніж 50% території знаходяться під сільськогосподарськими угіддями, 13% – займає рибне, 19% – очеретово-заготовче господарство.

Щорічно з дренажними та стічними водами до озера надходить велика кількість мінеральних солей, ядохімікатів, органічних речовин тощо. В той же час, значні об'єми води відбираються на зрошування та водопостачання населених пунктів. До кінця 70-х років озеро інтенсивно зариблювалося рослиноїдними рибами, в тому числі білим амуром.

Все це позначилось на його водній рослинності, яка є основою водних екосистем. Максимальні зміни відбулися в складі та розподіленні теперішньої водної рослинності, найбільш чітко показуючи загальний стан водойми.

В 50-60-ті роки заростання озера почалось досить сильно. За даними К.К. Зерова озеро Катлабух заросло на 100%. Більшість площі займала занурена рослинність. Після заселення в озеро рослиноїдних риб (кінець 60-х – початок 70-х років) занурена рослинність на значних площах була знищена [5].



Рис. 1.4 - Рослинний покрив України, басейн озера Катлабух / Електронний ресурс, географічні карти України: <http://geomap.land.kiev.ua/>

На сучасному етапі існування озера Катлабух занурена рослинність розвивається на незначних площах переважно в першу половину літа, а в наступний період займає лише верхів'я озера, окремі плеси за стіною очерету й глухі вікна-розриви у заростях повітряно-водної рослинності.

1.4 Коротка кліматична характеристика

Досліджувана територія, а саме низов'є Дунаю, розташована в зоні помірно-континентального клімату, для якого характерно коротка зима та тривала спека влітку [1, 6]. Зима починається в середині грудня, та закінчується у лютому. Середня температура січня коливається від 0,5 до 1,9°C (рис. 1.5).

Літо триває з травня по вересень. У липні переважає максимально місячна температура повітря від 22 до 24°C.

Середні багаторічні значення середньої річної температури повітря перебувають у діапазоні 10 - 12°C.

Найбільші значення досягають 12,2 - 12,6°C, найменші 9,1 - 9,6°C.

Максимальні річні величини температури повітря досягають 40,1°C (Ізмаїл). Мінімальні річні температури повітря можуть знижуватися до – 25,4°C.

Для досліджуваної території з точки зору кліматології характерні високі ресурси тепла та істотний дефіцит вологи. Хронологічний розподіл опадів по території та й в часі показує нерівномірність розподілу. Так, для холодного періоду року характерні затяжні опади малої інтенсивності. Річна норма опадів 376 - 442 мм (рис.1.6). Місячна кількість опадів коливається в межах від 0 до 224 мм. Найбільша добова кількість опадів досягає 98,4 мм.

За даними метеорологічних станцій регіону абсолютна вологість повітря (парціальний тиск) в середньому за рік складає в м. Болграді 11,2 гПа і м.Ізмаїлі 10,2 гПа (табл. 1.1) [7]. У червні-серпні спостерігається максимум абсолютної вологості (18,6 гПа і - 16,9 гПа) через збільшення

випаровування за рахунок прогріву поверхні суші. Також, у цей період є найбільшим й дефіцит насичення вологою повітря (8,9-10,6 гПа) з мінімальною відносною вологістю повітря (64-66 %) [7].

За рахунок зниження температури повітря у січні-лютому випаровування зменшується, абсолютна вологість досягає найнижчих значень (4,8 - 6,3 гПа), дефіцит знижується до 1,0-1,2 гПа, а відносна вологість – збільшується до 82-85 % [7].

Карта розподілу відносної вологості України (басейн озера Катлабух) наведена на рис.1.7.

Таблиця 1.1 – Середньомісячна та річна вологість повітря за період 1961-1990 рр. [7]

	Парціальний тиск, гПа												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Болград	4,2	5,5	6,7	9,5	13,4	16,9	18,6	18,0	14,9	11,2	8,5	6,3	11,2
Ізмаїл	4,8	5,3	6,4	8,7	12,4	15,4	16,9	16,1	13,2	10,1	7,8	5,8	10,2
	Дефіцит насичення, гПа												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Болград	0,9	1,2	2,4	4,9	7,5	9,5	10,6	10,5	7,3	3,9	1,9	1,0	5,1
Ізмаїл	1,0	1,2	2,3	4,6	6,8	8,9	10,2	10,1	7,0	3,8	1,9	1,1	4,9
	Відносна вологість, %												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Болград	83	82	77	68	66	65	65	64	68	74	82	85	73
Ізмаїл	83	82	78	70	69	67	66	66	70	76	82	84	74

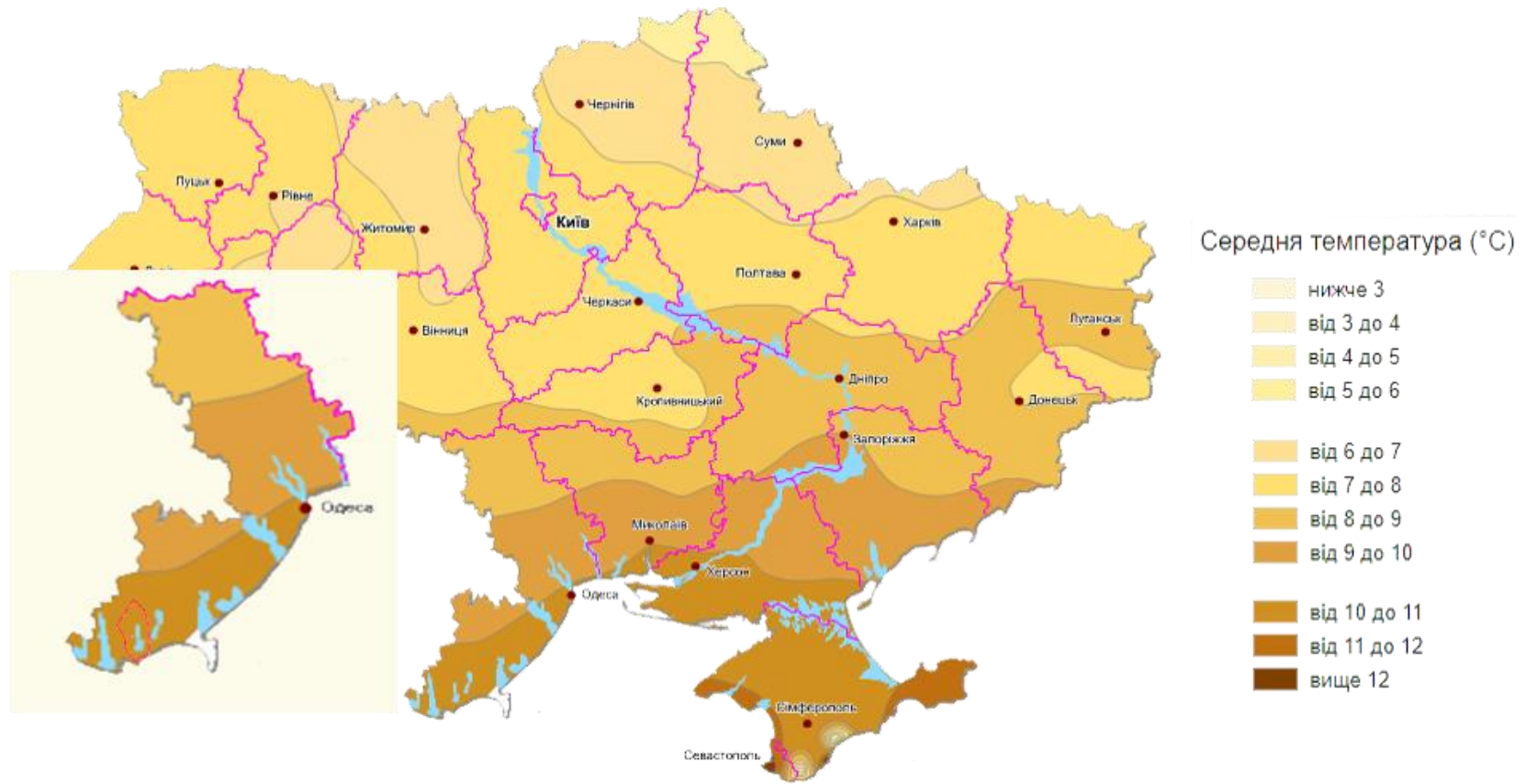


Рис. 1.5 – Карта розподілу температури повітря по території України, басейну озера Катлабух / Електронний ресурс, географічні карти України: <http://geomap.land.kiev.ua/>

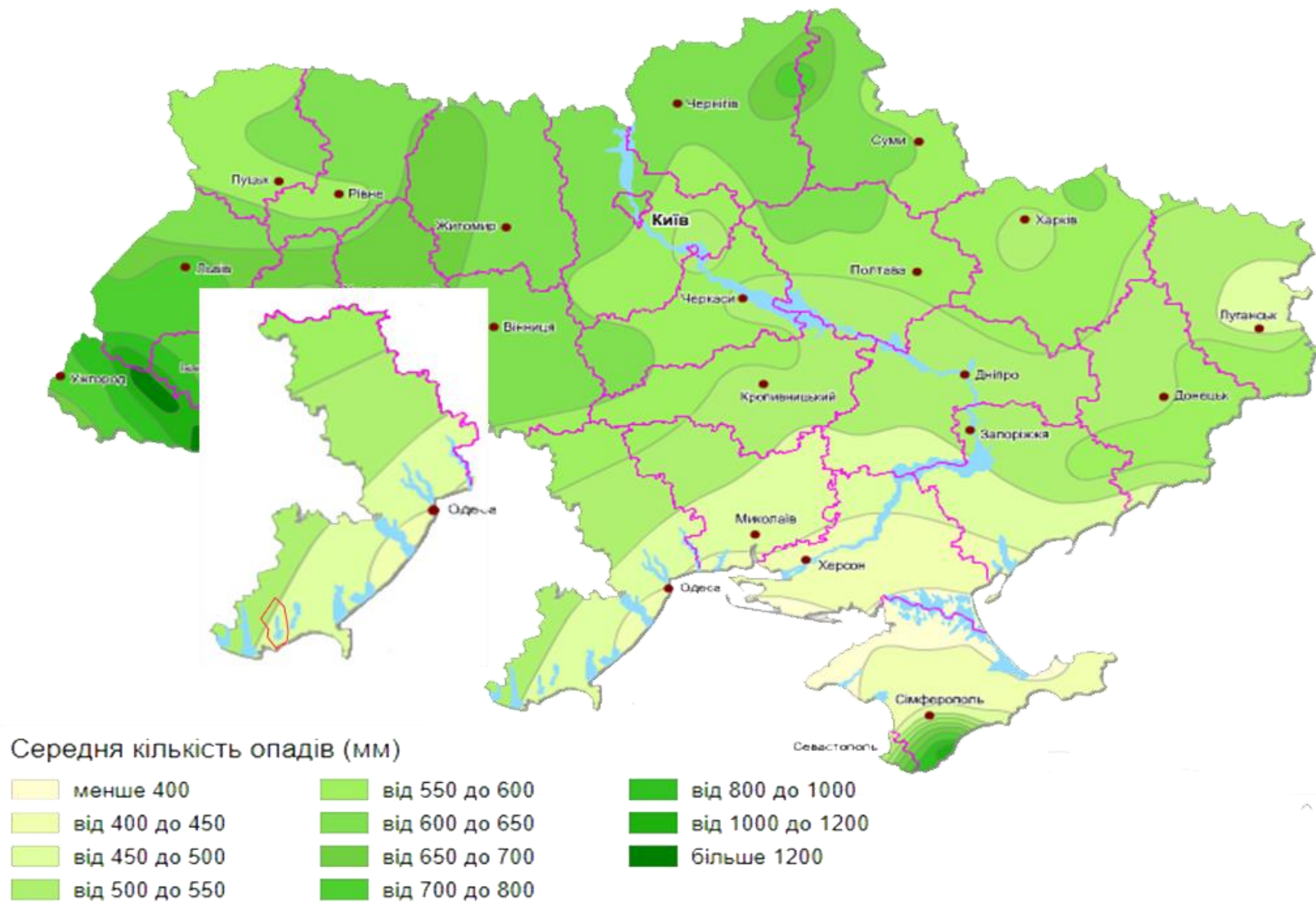


Рис. 1.6 – Карта розподіл опадів по території України, басейн озера Катлабух / Електронний ресурс, географічні карти України: <http://geomap.land.kiev.ua/>

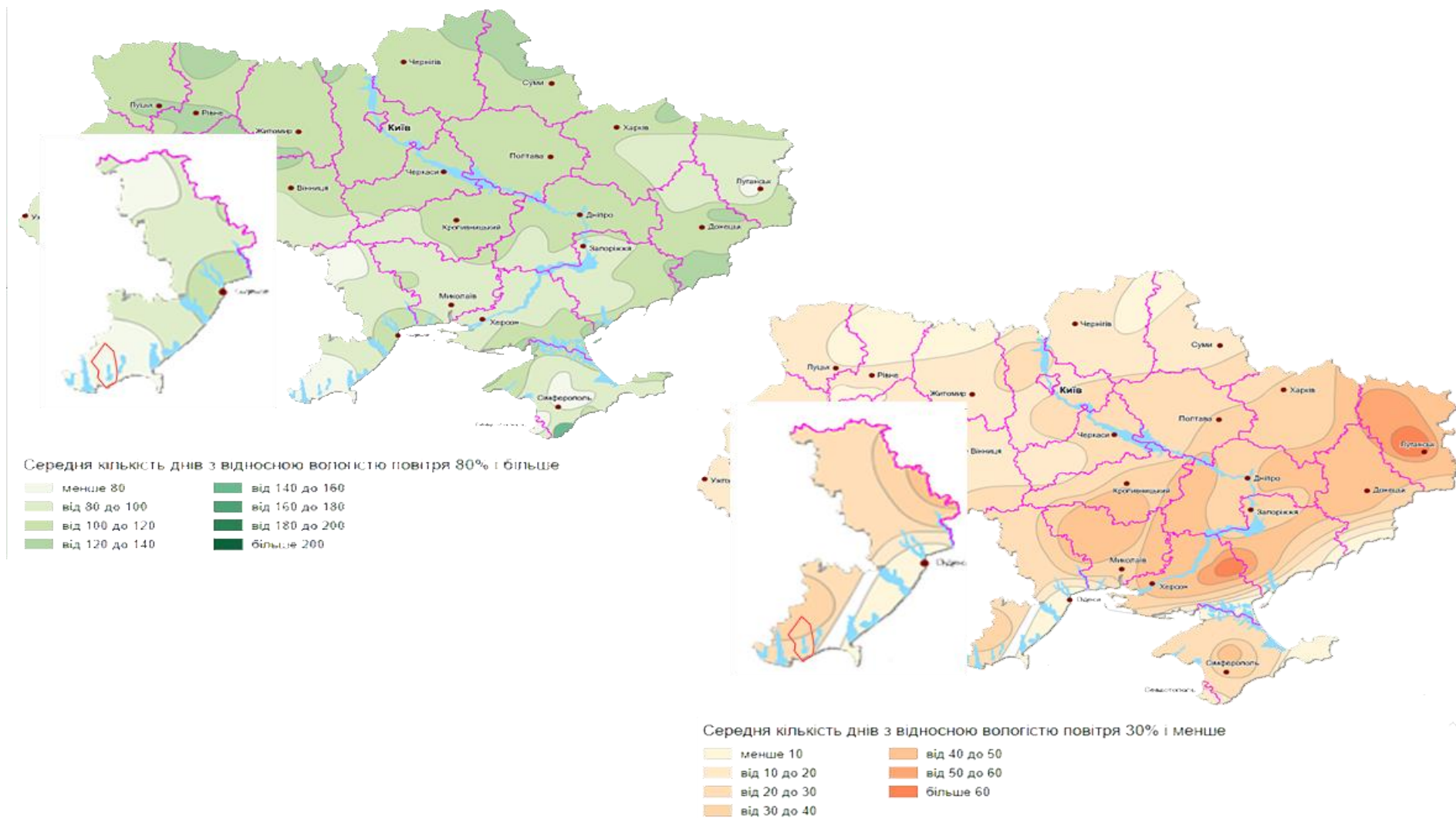


Рис 1.7 – Карти розподілу відносної вологості України, басейн озера Катлабух / Електронний ресурс, географічні карти України: <http://geomap.land.kiev.ua/>

За методом радіаційного балансу розраховується величина випаровування, а його річна величина (максимально можливого випаровування) становить для району гирла Дунаю становить близько 900-1000 мм [6].

Випаровування залежить від характеру поверхні, а саме:

- з відкритої водної поверхні випаровується в середньому за рік 810 мм води;
- з очеретяних заростей 1200 - 1300 мм;
- з пасовищ і сільськогосподарських угідь 970 мм.

Середній річний шар випаровування із поверхні всієї дельти становить 819 мм, тобто приблизно дорівнює величині випаровуваності (рис.1.8) [8]. В останні роки (2016-2020 рр.) спостерігається підвищення річного випаровування до 1056 мм (у 2016 р.) до 1426 мм (у 2020 р.) [1, 8].

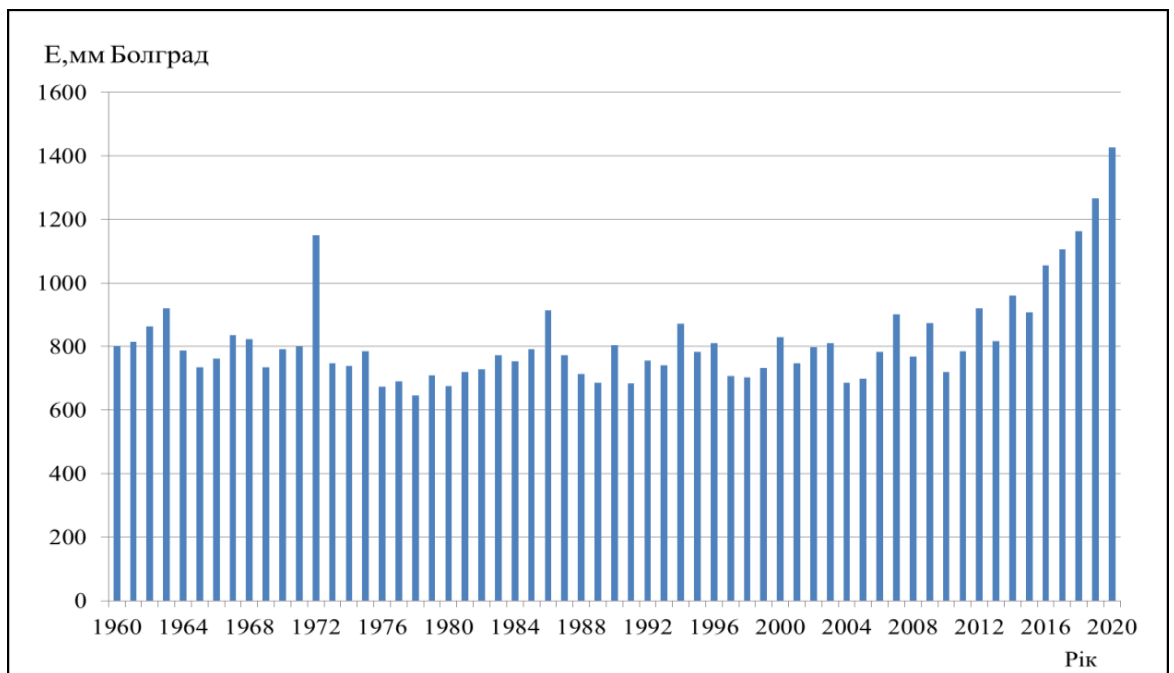


Рисунок 1.8 – Хронологічний графік річних сум випаровування по м/ст Болград (1960-2020 рр.) [8]

Для гирлової області Дунаю характерні слабкі і помірні вітри зі швидкістю 5 - 10 м/с. Середня річна швидкість вітру різних напрямків змінюється від 3,4 до 4,9 м/с (Ізмаїл).

Протягом року найбільшу повторюваність мають вітри північних румбів. При цьому вітри з північної складової переважають у холодну пору року (жовтень - березень). У теплу пору року збільшується повторюваність вітрів південних румбів.

У низов'ї Дунаю мають місце згінні і нагоні явища. Нагони відзначаються частіше, і по величині вони більші чим згінні. В окремі роки вплив згонів і нагонів поширюється до м. Рені [2].

1.5 Гідрологічна вивченість і особливості водного режиму озера Катлабух

Важливими параметрами дослідження озера, є його морфометричні характеристики. Від них багато в чому залежить гідрологічний і гідрохімічний режими, прогрівання і охолодження, гідробіологічний стан [2, 3, 5]. Морфометрична характеристика озера Катлабух представлена в табл.1.2 [9].

Таблиця 1.2 - Морфометрична характеристика озера Катлабух

Тип	РМО мБС	НПР мБС	Площа, км ²		Об'єм, млн.м ³			Глибина, м		Максимальне значення	
			РМО	НПР	повний	корисний	РМО	Средня	Максимальна	Довжина, км	Ширина, км
Наливне	0,7	1,7	–	68,5	131,0	68,5	62,5	1,9	2,7	21,0	6,0

Озеро Катлабух складається з основної широкої - південної частини, витягнутої верхньої - північної частини (вершини) і двох заток - Гасан і Ташбунар, розташованих симетрично з боків вершини. Загальна довжина озер 21,5 км, з них на вузьку частину припадає 16 км, довжина затоки Гасан – 5 км, а Ташбунар - 4 км. У зв'язку з тим, що рівень води в озері набуває значних коливань, площа його змінюється у досить широких межах - від 59 до 71 км².

В озеро Катлабух впадає річка Єника, довжиною 40 км, площею водозбору – 243 км². У іншу частину озера впадають річки В.Катлабух, протяжністю 49 км, площею водозбору – 536 км² і Ташбунар, довжиною 40 км, площею водозбору – 281 км².

Основні параметри озера Катлабух: довжина 21 км, максимальна ширина – 6,0 км, середня – 3,3 км, максимальна глибина – 2,7 м, середня – 1,92 м, площа дзеркала водної поверхні при НІР – 68,5 км², повний об'єм – 131млн.м³, корисний – 68,5 млн.м³, довжина берегової лінії озера – 75,4 км. Відмітки рівнів: НІР=1,70 мБС, РМО=0,70 мБС, ФІР=3,00 мБС [9]. Залежності площ водного дзеркала та об'ємів води в озері представлені в табл.1.3 та на рис.1.9.

Таблиця 1.3 - Координати залежностей площ водного дзеркала і об'ємів води від рівнів води в озера Катлабух [9]

Н, м БС	-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

При найбільшому рівні Балтійської системи площа дзеркальної поверхні становить 68 км², а загальний об'єм води 184 млн. м³.

Водний режим озера Катлабух залежить від річного ходу рівнів води в Дунаї [2, 8, 9]. Для озера встановлені лімітуючі горизонти - УМО, НПУ і ФПУ, в межах яких і здійснюється коливання рівня [9].

H, мБС

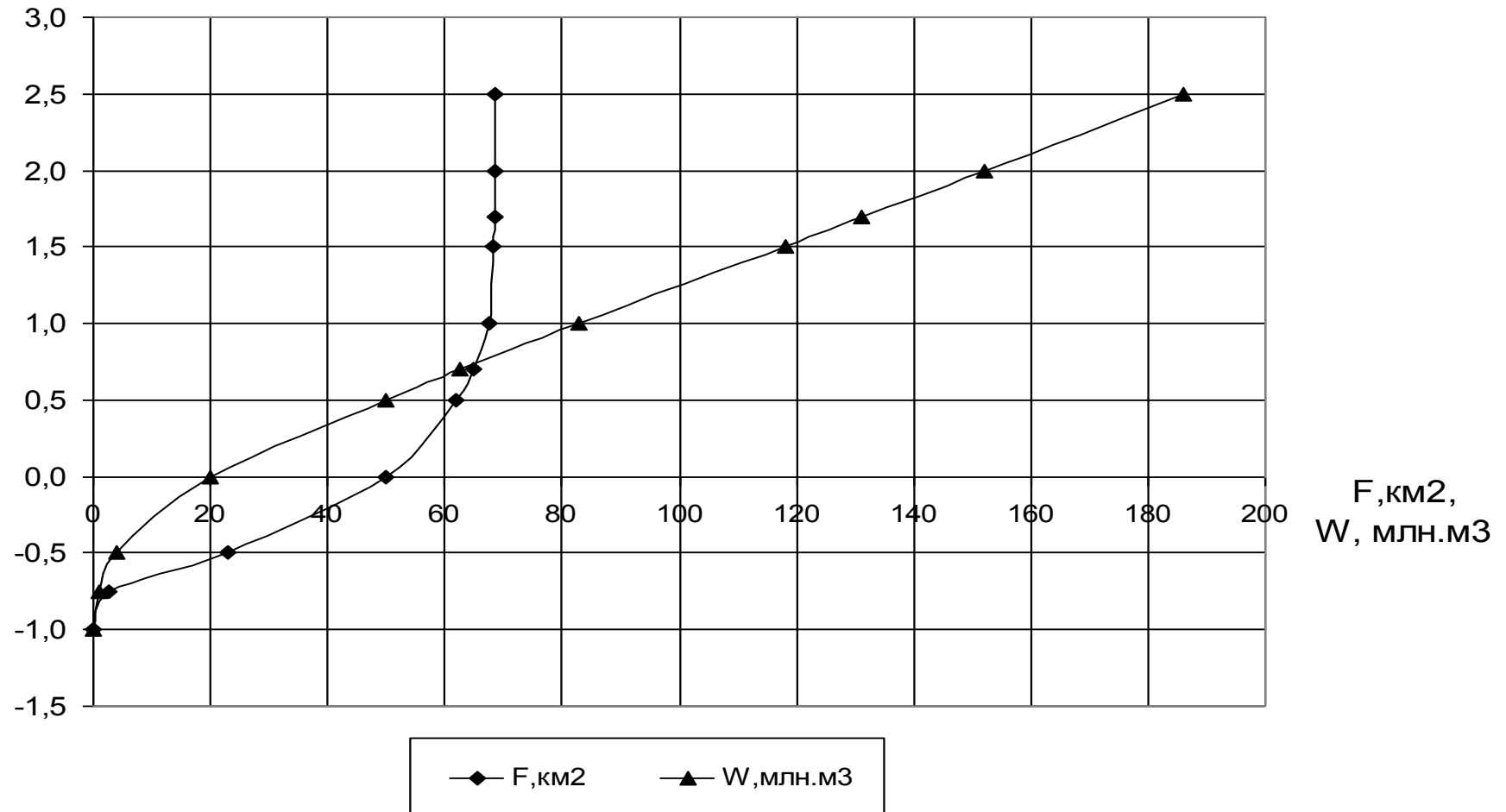


Рис.1.9 – Залежності об'ємів води озера і площ водної поверхні від рівнів води в озері Катлабух [9]

Гідрологічний режим озера має вирівняний режим, як у водосховища, та складається з чотирьох фаз: весняного наповнення, річного тримання рівнів, осінньо-зимової спрацювання, зимового стояння рівнів.

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.1.9 [1, 8]. Як видно з рисунку, в останні роки (2016-2020 рр.) спостерігається 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. 1.10).

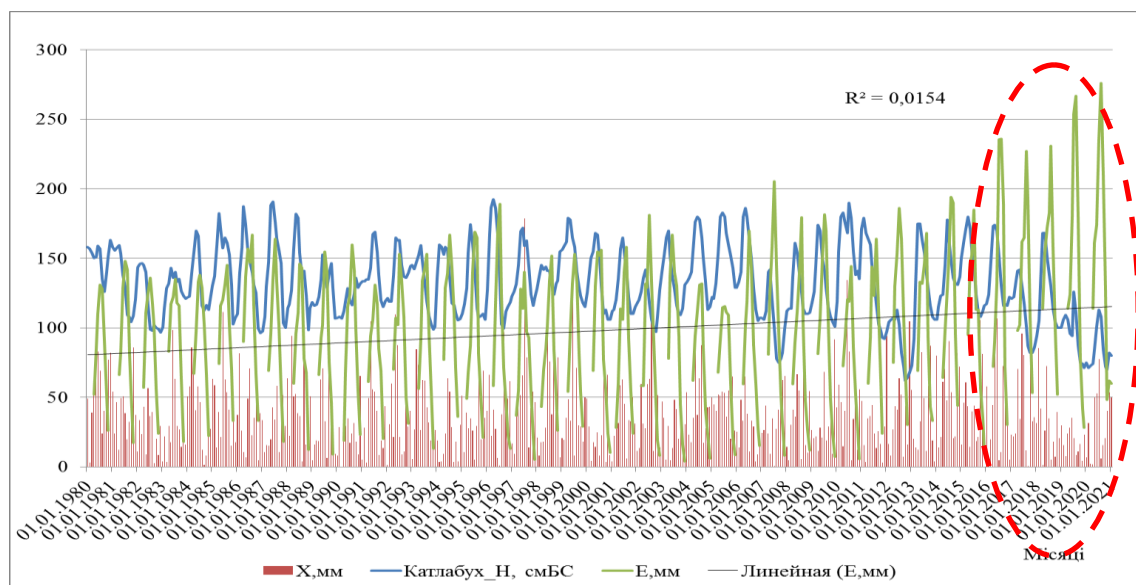


Рисунок 1.10 - Суміщений хронологічний графік місячних сум випаровування з водної поверхні по м/ст Болград, сум опадів по м/ст Ізмаїл та рівнів води в озері Катлабух (1980 по 2020 рр.) [8]

Основним джерелом надходження об'ємів річкової води у озеро Катлабух є р. Дунай. Повені на Дунаї відрізняються великою тривалістю - біля чотирьох місяців. У роки з високими повенями обсяг його становить 60% усього обсягу річного стоку [2, 8, 10].

Максимальні витрати спостерігаються у весняно-літній період і становлять 17000 - 20000 м³/сек. Мінімальні витрати спостерігаються в

період літньо-осінньої і зимової межені і становлять 1280 м³/сек. Середня швидкість течії в період межені 0,4-0,6 м/сек., при повеневих витратах 1,5-2,0 м/сек. Середньорічний стік Дунаю у вершині дельти дорівнює 203 км³ [10]. При цьому найменший обсяг стоку відзначений в 1921 році - 134 км³/рік, найбільший в 1941 році - 313 км³/рік. Амплітуда коливань рівнів у водпосту Рені складає 5,0 - 5,5 м у водпосту Вилкове 1,3 - 1,5 м [2, 10].

1.6 Водогосподарська діяльність

Озеро відокремлюється дамбою від річки Дунай і у господарській діяльності використовується як водосховище. Наповнення озера Катлабух самопливом проводиться головним чином з р. Дунай через канал Желявський, через канал Суспільний і оз. Саф'ян, а також стоком річок В. Катлабух, Ташбунар і Єніка [2, 8, 9].

На всіх живлячих протоках, які призначені для заповнення і спорожнення озера (скидання надмірних об'ємів води, промивок озера та ін.), встановлені шлюзи-регулятори [3, 9]. На берегах озера розташований ряд поселень - Багате, Кислиці, Першотравневе (Гасани – стара назва), Суворове, Утконосівка, Стара Некрасівка, для яких озеро є джерелом водопостачання і зрошення. Біля с. Першотравневе, верхньої частини Гасанської затоки знаходяться рибоводні ставки.

Озеро використовується и для широкого розведення і вилову риби. Тут водиться сазан, щука, окунь, краснопірка, жерех, карась, лящ, судак і сом, рідше зустрічаються язь, рибець, чехоня і бички. У риборозплідних ставках розводять і використовують для зариблення озера молодь товстолобика і білого амура. В озері Катлабух з риб найбільш численні сазан, щука, краснопірка, окунь, жерех, карась, лящ, судак і сом, рідше зустрічаються язь, рибець, чехоня і бички. Також існує промисел раків, популяція яких в озері дуже велика і, за оцінками, в деякі роки доходить до 15 мільйонів особин [11].

2 Методи визначення об'ємів випаровування поверхні води водойм

2.1 Загальні положення

Для водосховища Катлабух, яке характеризується періодичним водообміном з Дунаєм, випаровування з його чаші при даному наповненні є головною складовою втрат води у рівнянні водного балансу, що особливо відчутно при відсутності водообміну з річкою Дунай.

Випаровування з озер і водосховищ за певний період часу може бути визначено при спостереженнях за даними випаровувачів або при розрахунках за різними методами [12-14]. Огляд їх наданий в роботі автора (у співавторстві) [1].

При спостереженнях випаровування з водної поверхні існує наземний випаровувач ГГИ-3000 з площею $0,3 \text{ м}^2$ та глибиною $0,65 \text{ м}$. На м/ст Болград, тобто поблизу озера Катлабух, випаровування з поверхні води вимірюється з випаровувального басейну з площею 20 м^2 та глибиною 2 м (як водойма-еталон) [2].

В роботі випаровування з поверхні водойми Катлабух використані дані спостережень випарного басейну м/ст Болград. При цьому до величин вимірів з випарного басейну розрахунок шару випаровування (мм) здійснюється як [15]

$$E_0 = E_{20} K_h K_\omega K_{\text{защ}}, \quad (2.1)$$

де E_{20} - величина випаровування за даними випарного басейну площею 20 м^2 ;

K_h і K_ω - коефіцієнти, які враховують глибину і площу водного дзеркала водойми;

$K_{\text{защ}}$ - коефіцієнт, що враховує захищеність водойми від вітру, рослинності, будовами, крутими берегами та ін.

В [15] рекомендовано коефіцієнт, що враховує глибину K_h для водойми Катлабух (середня глибина 2 м, розташоване в степовій зоні) береться близьким до 1,0. Коефіцієнт, що враховує захищеність озера Катлабух перешкодами $K_{защ}$ береться на рівні одиниці, в умовах що висота перешкод дорівнює нулю [15]. Коефіцієнт, які враховує площу водного дзеркала водойми K_ω , який для озера Катлабух у межах степової зони береться рівним 1,0 (табл. 10 в [15]).

Розрахункові методики для визначення випаровування з поверхні дзеркала водойми використовують за відсутності спостережень на них. Це методи водного та теплового балансу; турбулентної дифузії водяної пари в атмосфері; емпіричні рівняння між випаровуванням і метео величинами [12].

2.2 Метод водного і теплового балансу

Величину випаровування можна за допомогою методу водного балансу, як різницю між видатковою та прибутковою частинами водного балансу [13, 17]. О.Ф. Литовченко пропонує обчислювати випаровування з водної поверхні за допомогою рівняння водного балансу у вигляді [13]:

$$E_B = X_\partial + Y_{np} + Y_{np}^1 - Y_{cm} - Y_{cm}^1 + (\pm \Delta V), \quad (2.2)$$

де X_∂ - опади на поверхню дзеркала водойми, мм;

Y_{np} і Y_{np}^1 - відповідно поверхневий і підземний приплив до водойми, мм;

Y_{cm} і Y_{cm}^1 - відповідно поверхневий і підземний стік води із водойми, мм;

ΔV - зміна об'єму води у водоймі за інтервал часу, що розглядається, мм.

За багаторічний період можна отримати досить точну розрахункову величину випаровування за допомогою методу водного балансу, але за короткотривалий період цей метод не можна використовувати, адже низька точність визначення підземного водообміну [16].

Усі джерела припливу та стоку теплової енергії та змінів запасів тепла враховуються у методі теплового балансу. Дані актинометричних спостережень використовуються для оцінки випаровування з водної поверхні озер та водосховищ [16].

У 1968 р. О.Р. Константинов запропонував розрахунок випаровування з водної поверхні за допомогою методу турбулентної дифузії, який визнає вертикальний потік водяної пари у приземному шарі атмосфери за метеорологічними елементами. Цей метод також можна назвати градієнтним. В цьому методі використовують градієнтну швидкість вітру та температуру повітря, які вимірювали на різних висотах (1-2 м). Але при випадіння опадів на дзеркало водойми цей метод не використовується [16].

2.3 Методи розрахунку випаровування за метеорологічними елементами

Пропонується для дослідження випаровування чотири групи розрахункових методів [1, 8].

Перша група – метод розрахунку випаровуваності, який запропонований у 1964 р. А.І. Будаговським, та удосконалений у 1985 р. Пенмана-Монтейта (Monteith). В цій групі використовують комплекс метеорологічних елементів – радіаційний баланс, температура та вологість повітря, а також швидкість вітру.

До другої групи входять методи М.М. Іванова (1954 р.), О.Р.Константинова (1968 р.) та В.С. Мезенцева (1962 р.), які використовують дані про температуру та вологість повітря.

О. Грибом встановлено зв'язок щомісячних шарів випаровування з середньомісячними температурами повітря та значень відносної вологості повітря за даними м/ст Болград (рис. 2.1) за період з листопада 2005 р. по грудень 2010 р. [18]. За допомогою цього зв'язку збільшилася точність визначення випаровування з водної поверхні лиманів Північно-Західного Причорномор'я [18, 19].

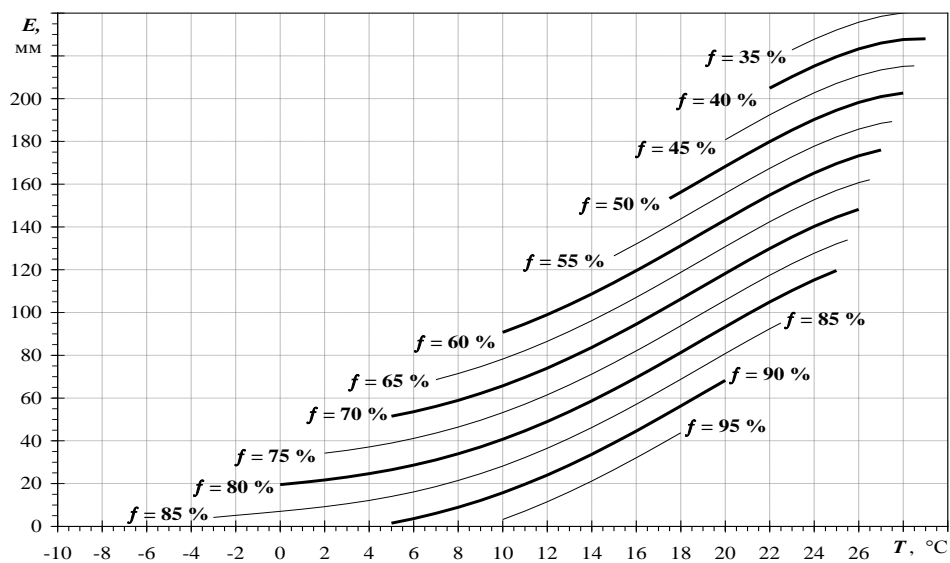


Рисунок 2.1 – Зв'язок випаровування з водної поверхні, E , мм, з середньомісячними температурами, T , °C, та відносною вологістю повітря, f , %, за даними м/ст Болград (за період з листопада 2005 р. по грудень 2010 р.) [18]

З рис. 2.1 видно, що випаровування води з поверхні випарувального басейну спостерігається з квітня по грудень, а з січня по березень – відсутнє, тобто дорівнює 0 мм. Шар випаровування збільшується при збільшенні температури та зменшенні відносної вологості повітря, а зменшується шар при зменшенні температури та збільшенні відносної вологості повітря [18].

До третьої групи методів розрахунку випаровуваності відносять методи, які використовують дані характеристик вологості повітря, які

запропонували Б.Д. Зайковим (1960 р.), Данутою Данелякою та А.М. Бефані (1989 р.) та ін.

Так, формула Б.Д. Зайкова матиме вигляд

$$E_0 = 4,6CD^{0,78}(1 + 0,52U_{1000}), \quad (2.3)$$

C - параметр, що виражає у скритому вигляді співвідношення між температурою поверхні води малої водойми та температурою повітря;

D - середній місячний дефіцит вологості повітря на суші, гПа.

U_{1000} – середня місячна швидкість вітру на висоті 1000 см на суші, тобто по флюгеру м³/с.

Данутою Данелякою та А.М. Бефані представлено степеневу математичну модель зв'язку випаровуваності з дефіцитом вологості повітря у вигляді логарифмічних координат:

$$E_{OD} = ad^L, \quad (2.4)$$

де E_{OD} - середня добова випаровуваність, мм;

d - середній дефіцит вологості повітря, гПа;

L - параметр, який визначається по нахилу верхньої огинаючої на графіках зв'язку логарифмів випаровування з дефіцитом вологості повітря, прийнятий в моделі в межах 0,50 - 0,67 (для кількох західних станцій СРСР та Польщі);

a - коефіцієнт пропорційності, чисельні значення якого обумовлені характером поверхні (рослинності) та її сезонної динаміки.

У роботі [8] за період 1991-2003 рр. побудовані графіки залежності вимірних величин випаровування від дефіциту насичення за даними м/ст Болград для вегетаційного періоду (квітень-вересень) та мають досить тісний зв'язок, як видно з рис. 2.2 для вересня місяця.

У таблиці 2.1 порівнюються вимірювальні величини випаровування на м/ст Болград та розрахункові за рівняннями залежності $\lg E=f(\lg d)$. Як видно з таблиці результати мають близьке значення при коефіцієнтах кореляції зав'язків від 0,45 до 0,93.

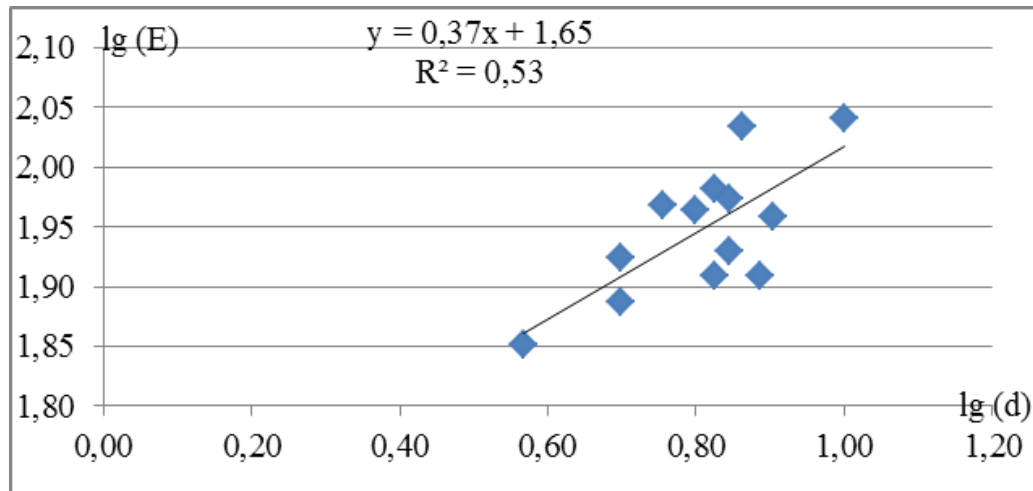


Рисунок 2.2 - Залежність випаровування від дефіциту вологості за вересень (1991-2003 рр.)

Таблиця 2.1 – Порівняльні результати розрахунків випаровування з водної поверхні по зв'язках з дефіцитом вологості повітря та виміряними на м/ст Болград

Місяці року	По залежностях $\lg E=f(\lg d)$		
	Рівняння	Коефіцієнт регресії, a	Коефіцієнт кореляції, r
Квітень	$\lg E=0,45\lg d+1,49$	0,99	0,45
Травень	$\lg E=0,56\lg d+1,53$	0,99	0,90
Червень	$\lg E=0,89\lg d+1,22$	0,99	0,93
Липень	$\lg E=0,47\lg d+1,67$	0,98	0,64
Серпень	$\lg E=0,44\lg d+1,68$	0,98	0,87
Вересень	$\lg E=0,36\lg d+1,65$	0,98	0,81

У формулі Давидова використовують дані дефіциту насичення повітря та швидкість вітру для розрахунку випаровування з поверхні води на

прикладі озера Гардно (узбережжя Південної Балтики, територія Польщі) [20]. Дане рівняння має наступний вигляд:

$$E = 0,4d(1 + 0,25v), \quad (2.5)$$

де E - добове випаровування з поверхні води, мм;

d - середньодобовий дефіцит насичення повітря, мм рт.ст.;

v - середньодобова швидкість вітру, м/с.

У роботі [20] авторами запропонована спрощена формула у період повного льодоутворення, а саме $E = 0,63d$.

До четвертої групи відносять методи К.Торнтвейта (Thorntwaite, 1931 р.), Л. Тюрка (1958 р.) та Л. Холдріджа (Holdridge, 1959 р.), в яких використовують дані температури повітря.

У 1931 р. К. Торнтвейт запропонував наступну формулу:

$$E_{OTорнтвейт} = 1,6(10T / I)^a, \quad (2.6)$$

де $E_{OTорнтвейт}$ - випаровування, см/міс⁻¹;

T - середньомісячна температура повітря;

$a = f(I)$, де I - тепловий індекс, що враховує поправку на широту.

Розрахунок величини річного випаровування використовується лише у теплий період, тобто у місяці з позитивною середньомісячною температурою повітря.

Найбільш широке використання набула узагальнена розрахункова формула вигляду випаровування з водної поверхні E [15]:

$$E = An(e_0 - e_{200})(1 + aw_{200}), \quad (2.7)$$

де n – число діб в розрахунковому інтервалі часу;

e_0 – середнє значення максимальної пружності водяного пару, розраховується за значенням температури поверхні води в водоймі, гПа;

e_{200} – середнє значення пружності водяного пару (абсолютної вологості повітря) над водоймою на висоті 200 см, гПа;

w_{200} – середня швидкість вітру над водоймою на висоті 200 см, м/с.

A - числовий коефіцієнт, який сумарно враховує вплив на процес випаровування деяких його факторів і дорівнює (в [21]):

0,18 – за методом теплового балансу (застосовується при розрахунках на Каховському водосховищі);

0,20 – за формулою Б.Д. Зайкова та М.С. Каганера;

0,13 – за формулою О.П. Браславського та З.О. Вікуліної;

0,14 – за формулою ДГІ (Державного гідрологічного інституту СРСР), запропонованою В.І. Кузнецовим, В.С. Голубовим, Т.Г. Федоровою (1960 р.);

0,104 – за формулою В.А. Римши та Р.В. Донченко;

a - числовий коефіцієнт, що дорівнює (в [21]):

0,44 – за методом теплового балансу (застосовується при розрахунках на Каховському водосховищі);

0,72 – за формулами Б.Д. Зайкова, О.П. Браславського та З.О. Вікуліної, ДГІ;

0,56 – за формулою М.С. Каганера.

У 1960 р. В.І. Кузнецовим, В.С. Голубовим та Т.Г. Федоровою запропонована формула ДГІ [15]:

$$E = 0,14n(e_0 - e_{200})(1 + 0,72u_{200}), \quad (2.8)$$

де u_{200} теж саме, що w_{200} .

Для місячних та сезонних багаторічних величин випаровування згідно з [15], розрахованих за формулою (2.8) або за даними вимірів (не менш як за 20 років), вважається нормою.

Для малих водойм, площею до 20 м², для визначення середньобагаторічних величин випаровування з водної поверхні можна використовувати карти ізоліній норм цих величин. В монографії «Ресурси поверхностних вод» [2] для території Західної України та Молдови на прикладі озера Катлабух величина випаровування дорівнює 850 мм.

У 2003 році А.І. Шерешевський та Л.К. Синицька уточнили емпіричну формулу розрахунку випаровування з водної поверхні за метеорологічними даними, адже з 1975 року об'єм випаровування суттєво знижується. Також автори пропонують нові чисельні параметри для формули (2.7) М.С. Каганера (1966 р.), де параметр A вдвічі збільшується, а числовий коефіцієнт a у чотири рази зменшується, та має наступний вигляд:

$$E = 0,37n(e_0 - e_{200}) \cdot (1 + 0,14W_{200}), \quad (2.9)$$

де W_{200} теж саме, що w_{200} .

Авторами А.І. Шерешевським та Л.К. Синицькою, побудовані карти випаровування середнього за багаторічний період (2000 р.), а також забезпеченістю 5, 25 та 50% (2003 р.) для території України.

2.4 Закордонні і сучасні методи визначення випаровування

Досліджуючи зарубіжну літературу [16, 17, 22] сучасного часу виявили дещо нові методи розрахунку випаровування.

Так у роботі [22] описується комплексний метод (метод Пенман-Монтейн) розрахунку випаровування, з використанням методів енергетичного балансу та масопереносу, який також має назву метод

аеродинамічного балансу. Цей метод враховує пропускну здатність водяної пари трохи далі від випаровуючої поверхні [22].

В Одеському державному екологічному університеті провідними професорами С.М.Степаненко, В.Г. Волошин та В.Ю. Курішина була розроблена сучасну енергобалансову модель *SLEB* [23]. За допомогою цієї моделі можна розрахувати значення всіх компонент теплового балансу земної поверхні з урахуванням добового ходу температури води, повітря і швидкості вітру, теплопровідності і теплоємності води, потоку тепла в воду, шорсткості поверхні (хвилювання), альбедо поверхні води в залежності від висоти сонця і у відповідності потоку вологи (прихований потік тепла) з іншими компонентами теплового балансу поверхні. Отже, відповідно використовуючи модель *SLEB* можна оцінити випаровування вологи з водної поверхні для кожного строку спостережень.

На прикладі озера Ялпук в роботі [24] за моделлю *SLEB* виконано розрахунок випаровування по місяцях при різних величинах швидкості вітру і шорсткості водної поверхні. Одержані модельні результати мають найменше відхилення від спостережених на м/ст Болград при $z_0=0,02$ м. А ось, змодельована річна сума випаровування (мм) дещо більша, ніж за даними випарника м/ст Болград. Проаналізувавши середню величину випаровування з 1999 р. по 2007 р. за моделлю на 3 % більша від спостережених, а саме на 23 мм. Цю відмінність показано на рис. 2.3 на прикладі 2000 р. та 2007 р. [24].

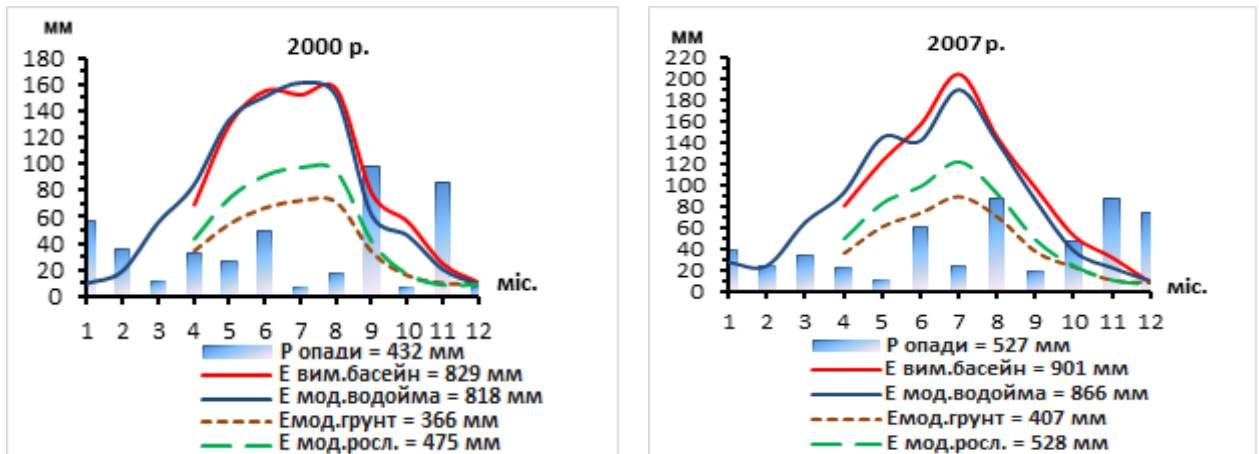


Рисунок 2.3 – Річний хід метеорологічних величин, випаровування з поверхні випарного басейну м/ст Болград і випаровування з водної поверхні, що розраховується за моделлю *SLEB* при $z_0=0,02$ м [24]

Має велике значення інтенсивність випаровування з поверхні солоних водойм, так як при розрахунках використовується коефіцієнт випаровуваності [18, 19, 25]. Цей коефіцієнт – це співвідношення величини випаровування солоної води до величини випаровування прісної води та зазвичай менше одиниці, але при збільшенні концентрації солей у воді – зменшується [25].

Випаровування з водної поверхні солоних водойм (солоність менше ніж $25\text{-}30$ г/дм³) рекомендовано розраховувати як і з прісних водойм тому, що випаровування з таких водойм зменшується лише на 2-3 %.

В роботах [18, 19, 25] при дослідженні процесів випаровування з водної поверхні для лиманів Північно-Західного Причорномор'я використовується безрозмірний коефіцієнт, який враховує вплив солоності (мінералізації) води на зменшення випаровування з водної поверхні. Але для озера Катлабух цей перехідний коефіцієнт не вводиться, так як озеро вважається прісною водоймою, адже його мінералізація в різні роки сягає до $3,5$ мг/дм³.

При розрахунках випаровування з водної поверхні водойми також необхідно враховувати наявність водної рослинності (напівзанурені водні

рослини), через її інтенсивну транспірацію вологи [25], яка враховується за допомогою перехідних коефіцієнтів [25, 15]. Перехідні коефіцієнти відповідають долі площі водойми, що займають напівзанурені водні рослини та приймаються згідно таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Перехідні коефіцієнти, які відповідають долі площі водойми, що займають напівзанурені водні рослини [25]

Зона	Площі заростей рослин у % від загальної площі водойми				
	10	30	50	75	100
Степова	1,04	1,14	1,24	1,37	1,50

Площа заростей рослин для озера Катлабух прийнята рівною 30 % від загальної площі та прийнята в розрахунках транспірації водною поверхнею.

Методи розрахунку випаровування у водному балансі річкових водозборів рівнинних річок наведені у роботі [26] за участі автора.

3 Визначення об'ємів опадів та випаровування з поверхні озера Катлабух у його водному балансі

3.1 Структура рівняння водного балансу озера

Рівняння водного балансу для гідрологічного режиму озера-водосховища Катлабух прийнято з [1, 8] і може бути представлено як

$$\begin{aligned} (\sum V_i)_{np} - (\sum V_i)_{вумр} = V P_i + V ri + V bi + V gi + V dri + V Di - \\ - V Ei - V tri - V fi - V zi - V Di' - V ozi, \end{aligned} \quad (3.1)$$

До складових приходної частини рівняння водного балансу озера Катлабух (у млн м³) відносяться:

$V P_i$ - 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 складових витратної частини рівняння водного балансу озера Катлабух (у млн м³) відносяться:

$V Ei$ - 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.

Так як водосховище Катлабух працює як регульована водойма при водообміні з р.Дунай у режимі періодичного його наповнення або спорожнення, то загальний вигляд рівняння водного балансу (3.1) може бути представлено у вигляді таких блок схем, які надані на рис.3.1 та рис.3.2.

На рис. 3.1 до складових приходних частин рівняння водного балансу озера Катлабух вкдючені: 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}).

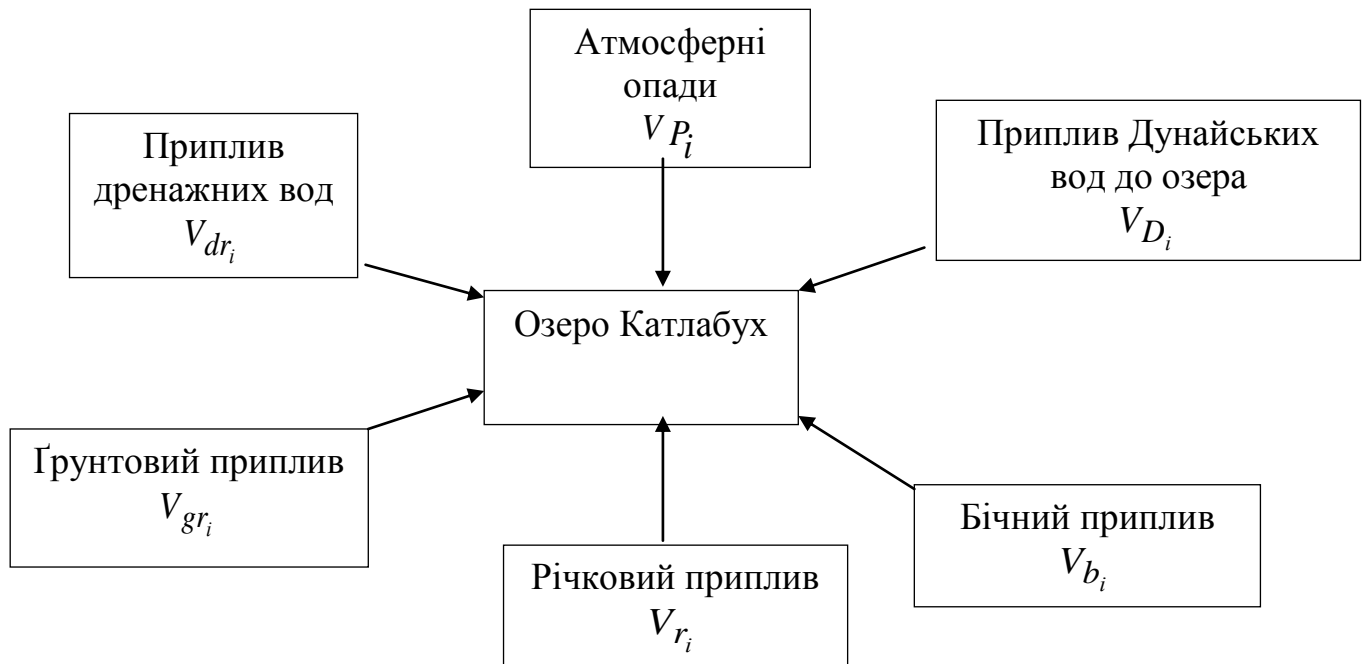


Рисунок 3.1 – Блок-схема складових приходних частин рівняння водного балансу озера Катлабух

На рис. 3.1 до складових витратних частин рівняння водного балансу озера Катлабух вкдючені: об'єм випаровування (V_{E_i}), 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.

Всі складові балансу виражаються в об'ємах у млн м³, як 10^6 м³.

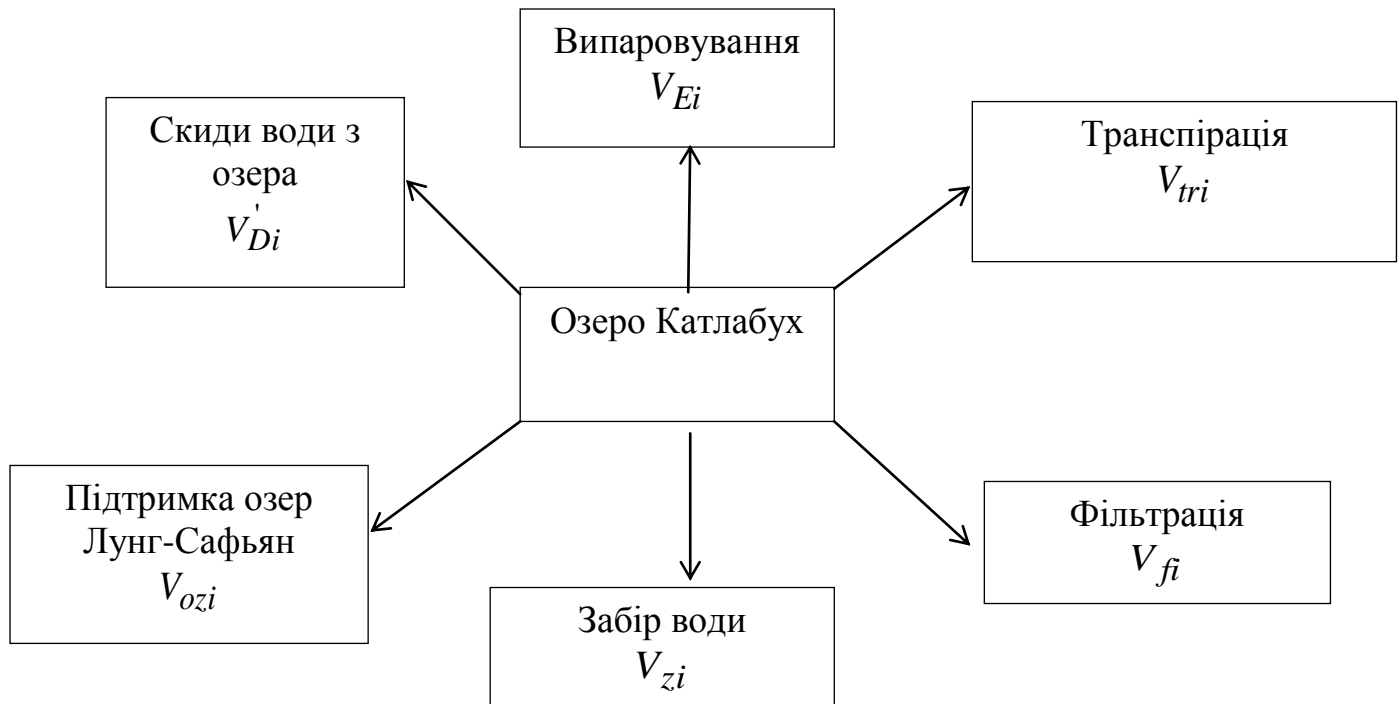


Рисунок 3.2 - Блок-схема складових витратних частин рівняння водного балансу озера Катлабук

3.2 Розрахунок об'ємів опадів і випаровування з водної поверхні озера

Опади на водну поверхню водойм є приходною, а випаровування з їх водної поверхні - витратною складовою водних балансів водойм, що є особливо важливим чинником в умовах посушливого клімату півдня України і повинні розглядуватися сумісно [1].

В межах та близько до водойми та його басейну озера Катлабук знаходяться дві метео станції - м.Болград та м.Ізмаїл (рис. 3.3).



Рисунок 3.3 - Карта-схема розміщення метеостанцій Болград та Ізмаїл [8]

Сума атмосферних опадів за рік по м/ст Ізмаїл за багаторічний період (1980-2020 рр.) коливаються від 224 мм (2019 р.) до 784 мм (1966 р.) та 656 мм (1997 р.) при середньобагаторічній величині опадів - 456 мм за рік.

При цьому об'єм опадів на дзеркало водосховища Катлабух визначений за кількістю опадів на м/ст Ізмаїл (для кожного місяця протягом року)

$$V_P = P \cdot F_{\partial z} / 10^3, \quad (3.2)$$

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

$F_{\partial z}$ – площа водного дзеркала (км²), при середньому за місяць рівню води в водоймі $H_{сер}$ (м БС).

В табл. 3.1 наведені для різних років величини опадів та їх об'єми на поверхню води (по Ізмаїл), які розраховані (3.2). На рис. 3.4 можна побачити коливання по роках об'ємів сум опадів на поверхню води озера Катлабух (за багаторічний період 1980-2020 рр.). Вони коливаються як й кількості річних опадів – від 14,9 млн м³ (2019 р.) до 44,5 млн м³ (1997 р.).

Таблиця 3.1 – Кількість опадів і розраховані об'єми опадів об'ємів сум опадів на поверхню води озера Катлабух за багаторічний період 1980 – 2020 рр. (м/ст Ізмаїл)

Роки	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
P , мм	651	486	313	345	495	534	428	379
V_p , МЛН M^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 M^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 M^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 M^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 M^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 M^3	23,5							

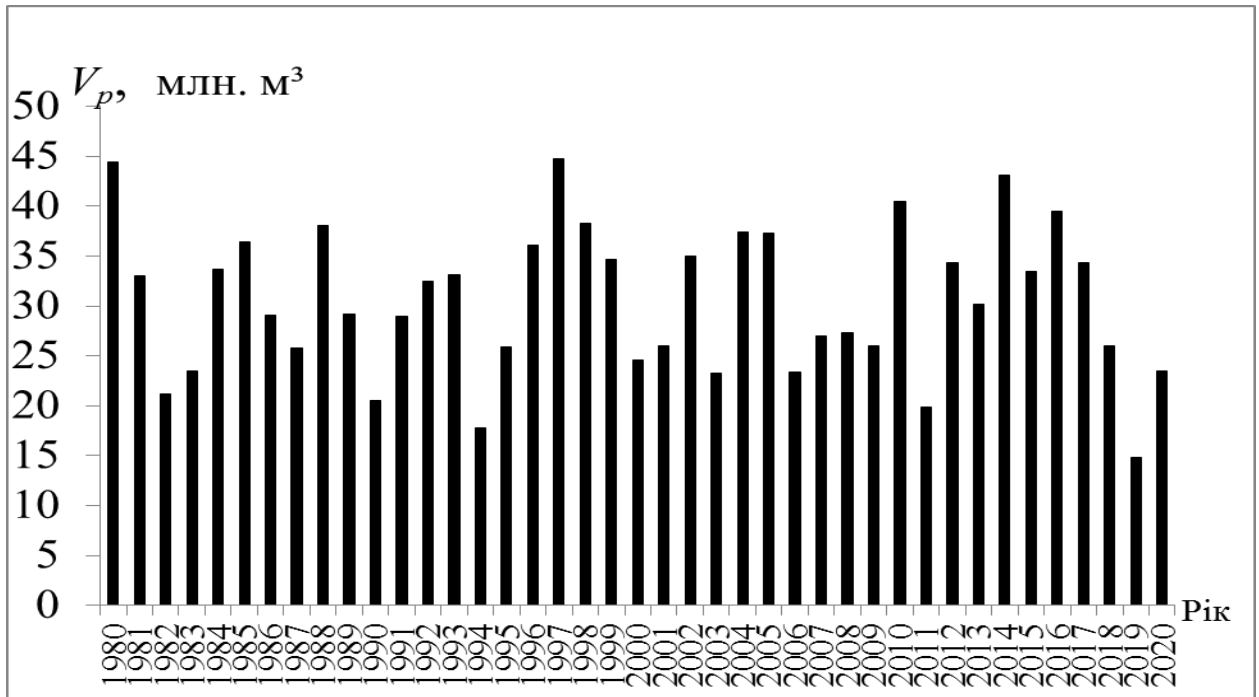


Рисунок 3.4 – Коливання по роках об’ємів сум опадів на поверхню води озера Катлабух (за багаторічний період 1980-2020 рр.)

Об’єми випаровування з поверхні води озера Катлабух визначались за даними випарного басейну м/ст Болград. Середня за багаторіччя величина випаровування за рік становить 819 мм (1960-2020 рр.) при крайніх значеннях - у 1978 р. - 645 мм та у 2020 р. - 1426 мм за рік (див. рис. 1.9) [1].

Об’єми випаровування з поверхні води озера Катлабух (млн м³) визначенні по даних площ водного дзеркала F (км²), яка відповідає середньому за місяць рівню води в озері та шару випаровування E з дзеркала озера для кожного місяця року [1, 8]

$$V_{E_i} = E \cdot F_{\partial z} / 10^3. \quad (3.3)$$

У табл. 3.2 показані величина і розраховані за формулою (3.3) об'єми опадів об'ємів випаровування з поверхні води озера Катлабух за багаторічний період 1980 – 2020 рр. (м/ст Болград)

Таблиця 3.2 – Величина і розраховані об'єми випаровування з поверхні води озера Катлабух за багаторічний період 1980 – 2020 рр. (м/ст Болград)

Роки	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
E , мм	675	720	728	772	754	791	914	773
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
E , мм	714	686	804	683	755	741	872	783
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
E , мм	810	707	703	732	829	748	797	811
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
E , мм	686	699	783	901	768	873	720	785
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
E , мм	920	817	961	908	1056	1106	1163	1266
V_E , МЛН $М^3$	61,3	55,7	65,5	65,2	72,0	74,6	79,3	84,4
Роки	2020							
E , мм	1426							

V_E , МЛН M^3	94,1							
----------------------	------	--	--	--	--	--	--	--

На рис. 3.5 показані коливання по роках об'ємів випаровування з дзеркала водойми Катлабух (за багаторічний період 1980-2020 рр.), які **варіюють** від 44,6 (2004 р.) до 97,13 (2020 р.) млн m^3 . Причому можна відмітити, що з 2014 р. об'єми випаровування води значно зросли [1].

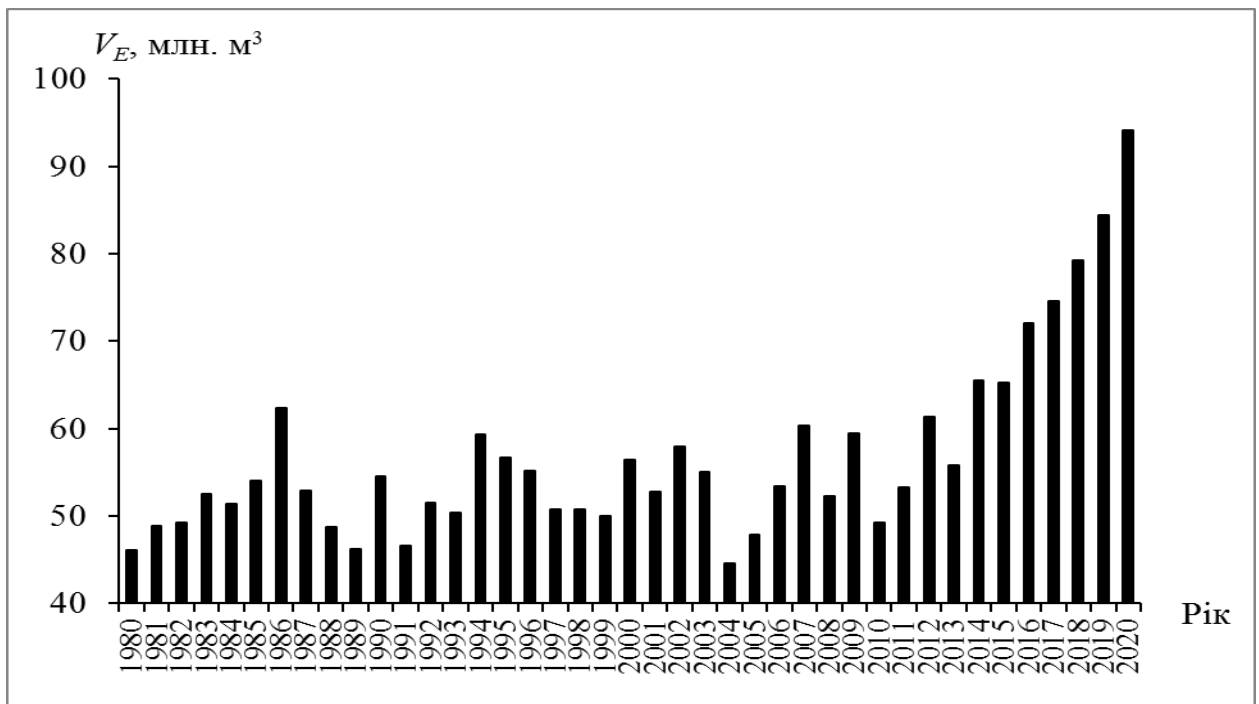


Рисунок 3.5 – Коливання по роках об'ємів випаровування з дзеркала водойми Катлабух (за багаторічний період 1980-2020 рр.)

3.3 Розрахунок об'ємів води на транспірацію водною рослинністю

Розрахунок об'ємів води на транспірацію водною рослинністю виконано при прийнятій площі заростей у розмірі 30%, при використанні в розрахунках поправкового коефіцієнту, що дорівнює 1,14 (за [8]). Випаровування з частин акваторії, що зайнята водною рослинністю (у % від суми за весь рік) показана у табл. 3.3. За даними про об'єми випаровування з

дзеркала водойми Катлабух з урахуванням відсотка по м'ясяцях за табл.3.3 визначені й об'єми транспірації водойми Катлабух.

Таблиця 3.3 – Випаровування з частин акваторії, що зайнята водною рослинністю (у % від суми за весь рік)

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

На рис. 3.6 представлено коливання по роках об'ємів транспірації водойми Катлабух (за багаторічний період 1980-2020 рр.) при їх варіації по роках від 1,87 млн м³ у 2004 р. до 4,01 млн м³ у 2020 р. Також як й для об'ємів випаровування з води з 2014 р. об'ємів транспірації значно зросли [1].

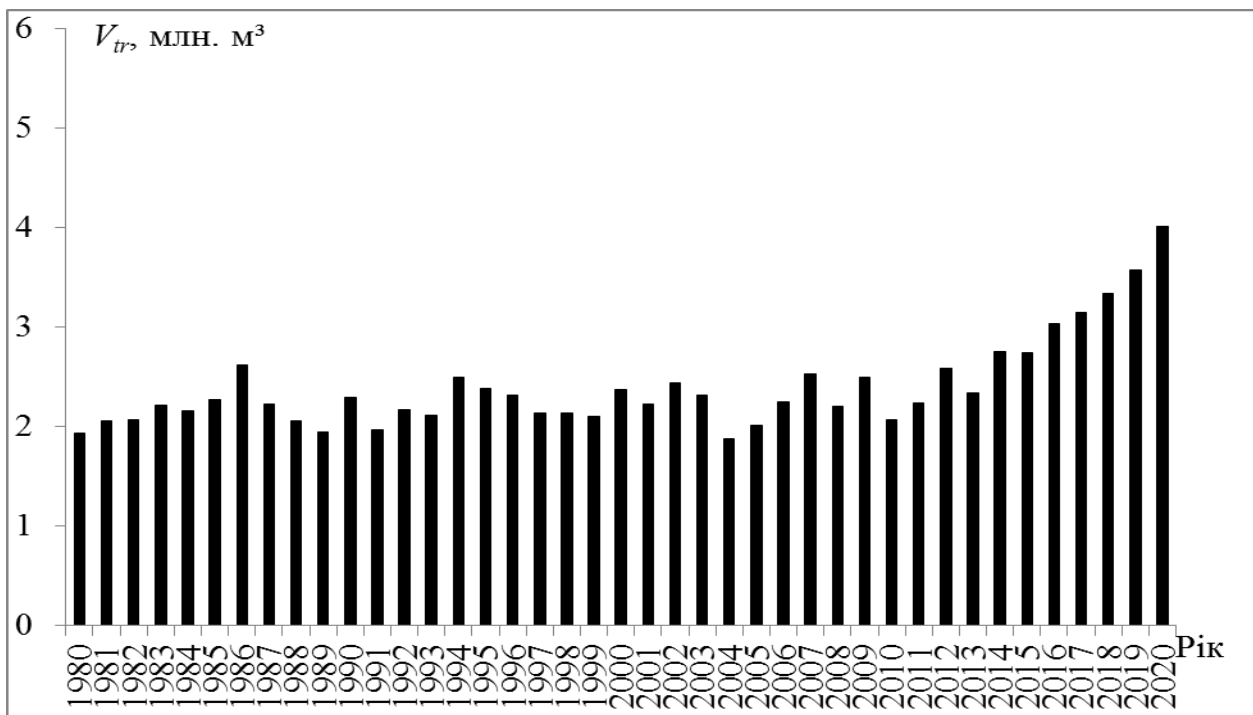


Рисунок 3.6 – Коливання по роках об'ємів транспірації водойми Катлабух (за багаторічний період 1980-2020 рр.)

3.4 Загальна оцінка складових у водних балансах

В роботі показано на рис. 3.7 та рис. 3.8 [8] складові частини водних балансів показали озера Катлабух за багаторічний період 1980-2020 рр.

Найбільшу частину води, що надходить до озера (рис.3.7) мають об'єми опадів (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. Найбільшу частину води, що витрачається з озера мають (рис. 3.8) випаровування разом з транспірацією (53,0%), об'єми заборів води на зрошення, на скиди води до р. Дунай та фільтрацію становлять 21,1%, 19,4% та 5,8% відповідно.

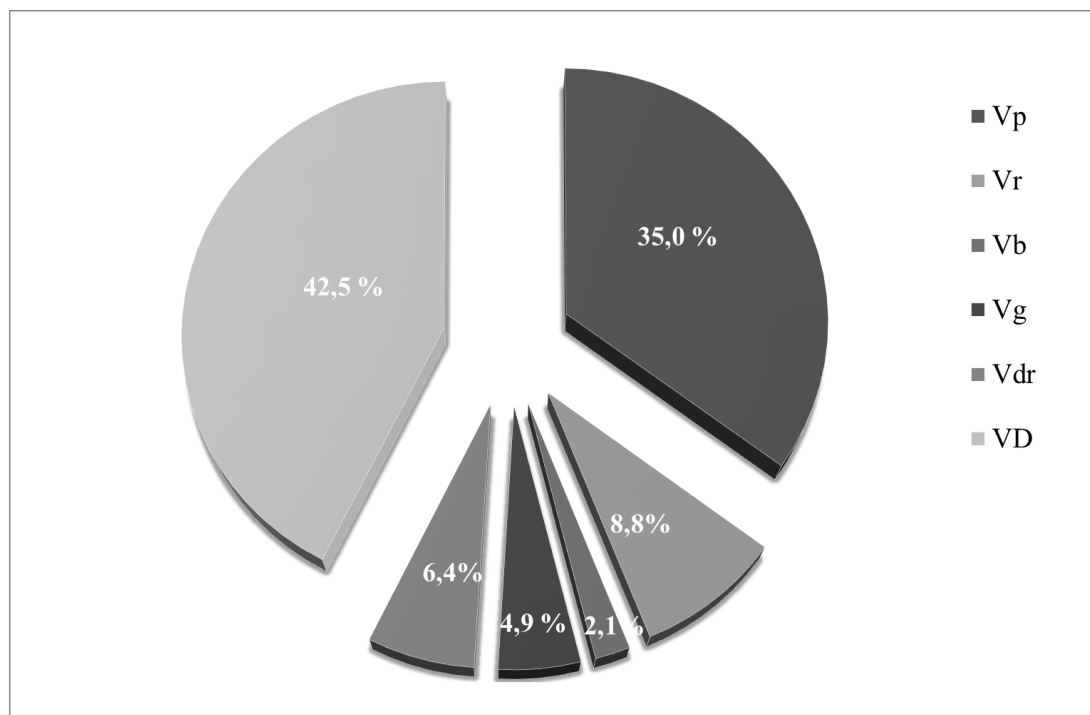


Рисунок 3.7 – Частини води, що надходить до озера Катлабух (у %) в середньому за період 1980-2020 рр.

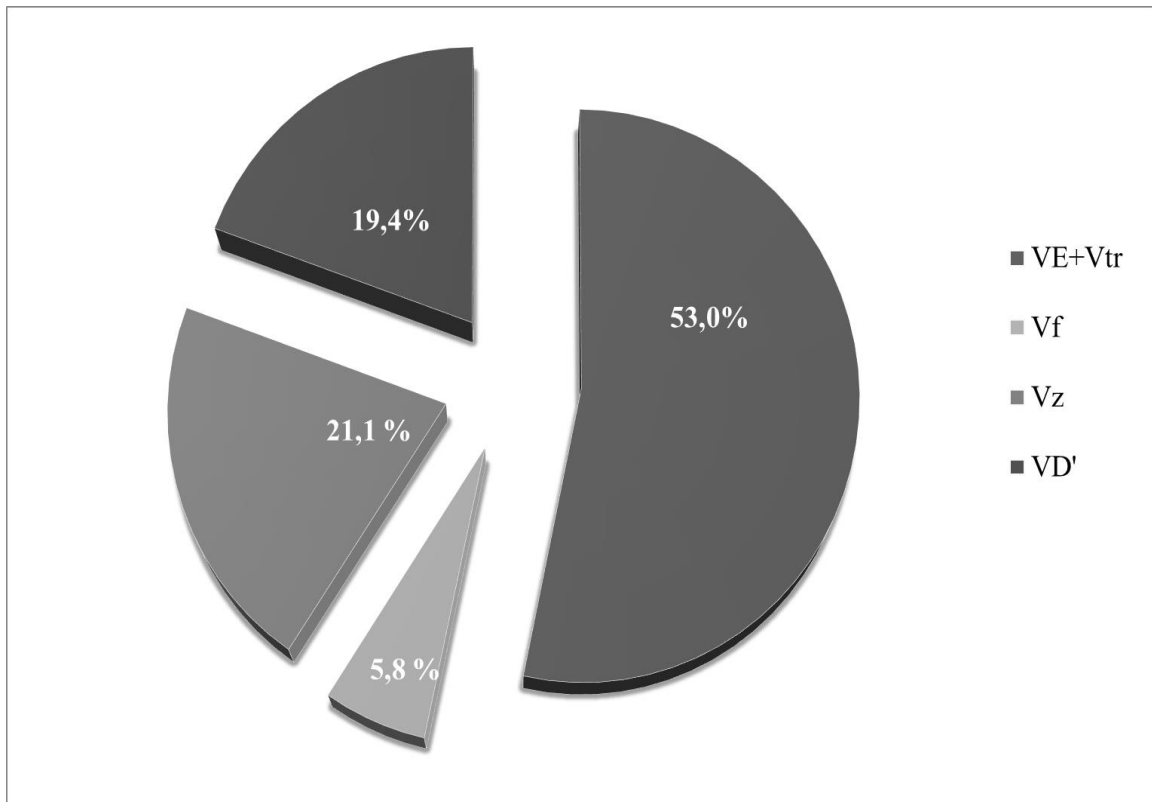


Рисунок 3.8 – Частини води, що витрачається з озера Катлабух (у %) в середньому за період 1980-2020 рр.

Можна зробити висновок, що для регульованого озера-водосховища Катлабух частина випаровування з транспірацією з поверхні його дзеркала є найбільша в водних балансах, особливо в літні періоди, коли немає зв'язку з р. Дунай відсутній. Також відмічено, що об'єм випаровування може бути більшим за об'єм опадів на його водну поверхню, які все ж таки становлять значну приходну частину балансів.

Визначення випаровування з поверхні водойм посушливого регіону Придунав'я (на прикладі озера Катлабух) наведено в роботі [1] за участі автора.

3.5 Розрахунок складових водного балансу озера Катлабух за комп'ютерним комплексом

3.5.1 Загальні положення комп'ютерного комплексу «CatlabuhApp»

Комп'ютерний програмний комплекс призначений для розрахунку водного і сольового рівнянь озера Катлабух (з періодом один місяць), наглядного представлення результатів розрахунків, що дозволяє прискорити та автоматизувати розрахунок і корегувати режими експлуатації водойми [8, 27]. Вигляд програми показано на рис. 3.9, а блок-схема розрахунків показана на рис. 3.10.

Програмний комплекс «CatlabuhApp» використовується в кожному році по місяцях по вхідних даних, що мають у розпорядженні користувача, табличному та графічному вигляді результатів розрахунків та їх похибок.

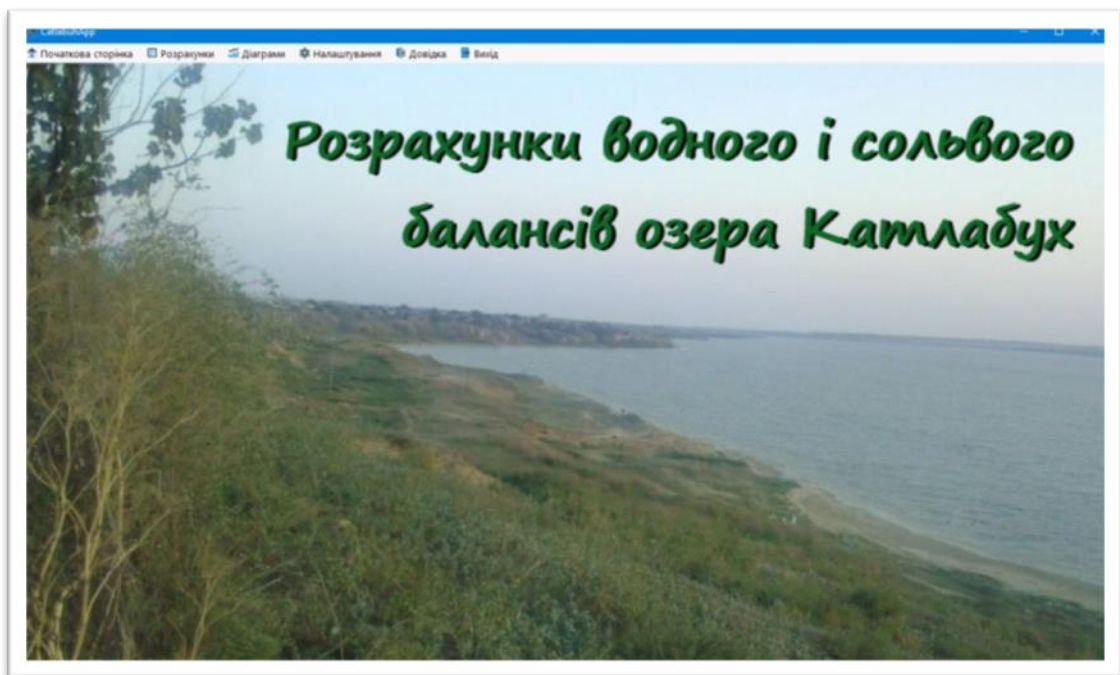


Рисунок 3.9 – Головне вікно програмного комплексу «CatlabuhApp»

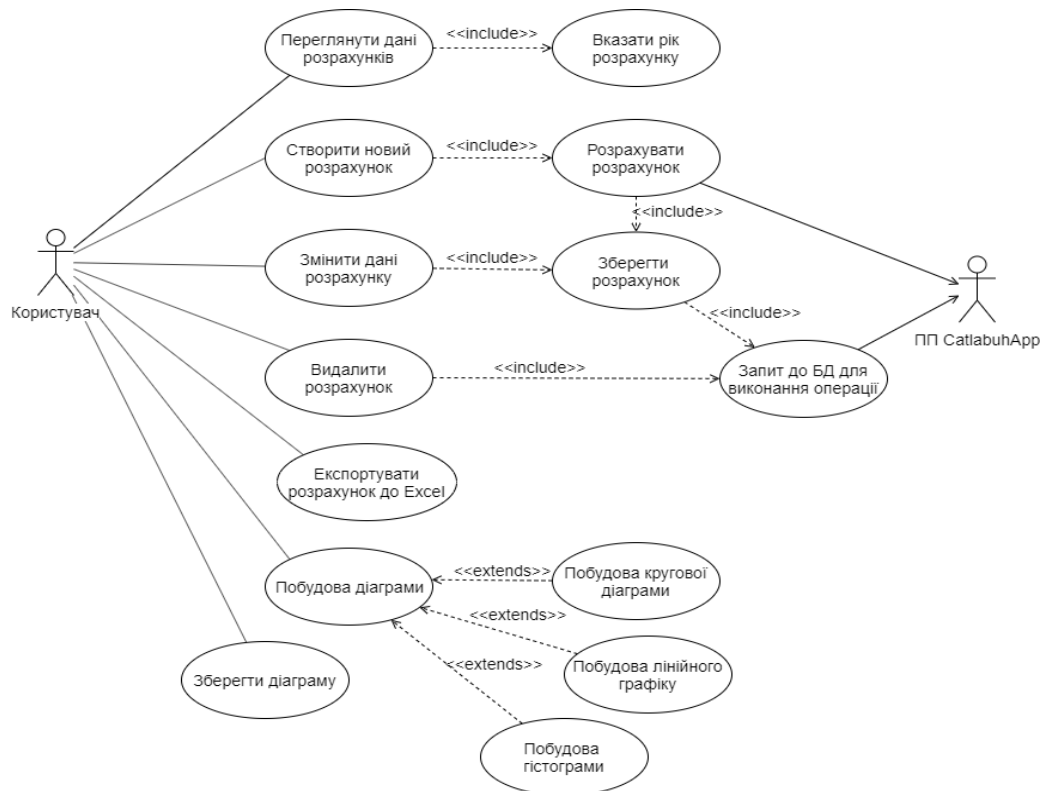


Рисунок 3.10 – Блок-схема розрахунків у комп'ютерному комплексі «CatlabuhApp»

3.5.2 Порядок розрахунків складових водного балансу озера Катлабух у комп'ютерному комплексі «CatlabuhApp»

I. Збір вихідних даних у комп'ютерному комплексі «CatlabuhApp» для озера Катлабух у 2020 р. [27].

В ході роботи для розрахунків водного балансу озера Катлабух був зроблений збір таких вихідних даних у 2020 році [27]:

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

Всі вихідні дані були занесені до комп'ютерного комплексу «CatlabuhApp» (рис. 3.11).

Налаштування вхідних даних

Зберегти вхідні дані | Розрахувати | Очистити поля | Оберіть рік розрахунку: 2020 | Згорнути вікно

Вкажіть рівні води, МБС

01 Січ.	0.75	/ 31 Січ.	0.71
01 Лют.	0.71	/ 28(29) Лют.	0.73
01 Берез.	0.73	/ 31 Берез.	0.74
01 Квіт.	0.74	/ 30 Квіт.	0.84
01 Трав.	0.84	31 Трав.	1.01
01 Черв.	1.01	/ 30 Серп.	1.13
01 Лип.	1.13	/ 31 Лип.	1.08
01 Серп.	1.08	/ 31 Серп.	0.84
01 Вер.	0.84	/ 30 Вер.	0.72
01 Жовт.	0.72	/ 31 Жовт.	0.7
01 Листоп.	0.7	/ 30 Листоп.	0.7
01 Груд.	0.7	/ 31 Груд.	0.7

Сума опадів за місяць, мм

Дані з м/ст. Ізмаїл	Дані з м/ст. Болград	
Січ.	6.6	7.7
Лют.	31.2	35.6
Берез.	2	10
Квіт.	1.9	14.4
Трав.	49.7	68.5
Черв.	52.8	176.8
Лип.	77.4	31.6
Серп.	6	1.3
Вер.	15.7	21.9
Жовт.	20.7	45.7
Листоп.	40.3	46.5
Груд.	53.7	79

Вкажіть забір води на зрош., млн. м³

Січ.	0
Лют.	0
Берез.	3.85
Квіт.	15.44
Трав.	19.96
Черв.	20.61
Лип.	18.68
Серп.	0.95
Вер.	0
Жовт.	0
Листоп.	0
Груд.	0

Вкажіть визначення випаровування

Дані з м/ст. Болград

Дані за SLEB

Розрахувати за дефіцитом вологості

Січ. 0

Лют. 0

Берез. 0

Квіт. 114

Трав. 161

Черв. 174

Лип. 254

Серп. 276

Вер. 210

Жовт. 127

Листоп. 48

Груд. 62

Автоматичне заповнення

Вкажіть об'єми за рік, млн. м³

Приплив ґрунтових вод 4.13

Вкажіть середню мінералізацію, кг/м³

Груд. поперед року: 4.29

ДГРШ

Враховувати дані з графіку роботи шлюзів?

Рисунок 3.11 - Вихідні дані комп'ютерного комплексу «CatlabuhApp» у 2020 р.

II. Основні етапи розрахунків водного балансу озера Катлабух

Для рішення рівняння водного балансу озера за комп'ютерним комплексом «CatlabuhApp» виконані такі етапи [27]:

1. Розрахунок приходних складових (у млн м³): 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 витратних складових (у млн м³): 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 похибок-неув'язок рівняння водного балансу (у млн м³ чи у %).

Одержані вихідні дані та результати розрахунків частин водного балансу озера Катлабух у 2020 р. наведені в табл.3.4.

III. Висновок по розрахунках.

Одержані результати по розрахунках частин рівняння водного балансу озера Катлабух показали, що у 2020 р. значний об'єм приходної складової мають опади на водну поверхню озера (40,4%), а витратної - мають випаровування з водної поверхні разом з транспірацією (53,5%) при конкретному рівні води водойми і його площі дзеркала.

Таблиця 3.4 - Результати розрахунків водного балансу озера Катлабух у 2020 р.

CatlabuhApp																		
Початкова сторінка Розрахунки Діаграми Налаштування Довідка Вихід																		
Відні дані Експорт до Excel Оберіть рік розрахунку: 2020 Багатоходовий рік, 30%																		
Водний баланс Сольовий баланс																		
Прибутова частина																		
Місяць	H1	H2	H ср.	W1	W2	ΔW	F(H ср.)	P Ізм.	P Болг.	Vp	Vr	Vb	Vg	Vdr	ΣP	VD+	Voz+	ΔVni
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	Eтр	VE	Vтр	Vf	Vz	ΣR	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. Графіки коливання приведені для приходної (рис.3.12) та витратної складових балансу (у млн м³) (рис.3.13) та їх зміст в водному балансі водойми (рис.3.14, рис.3.15).

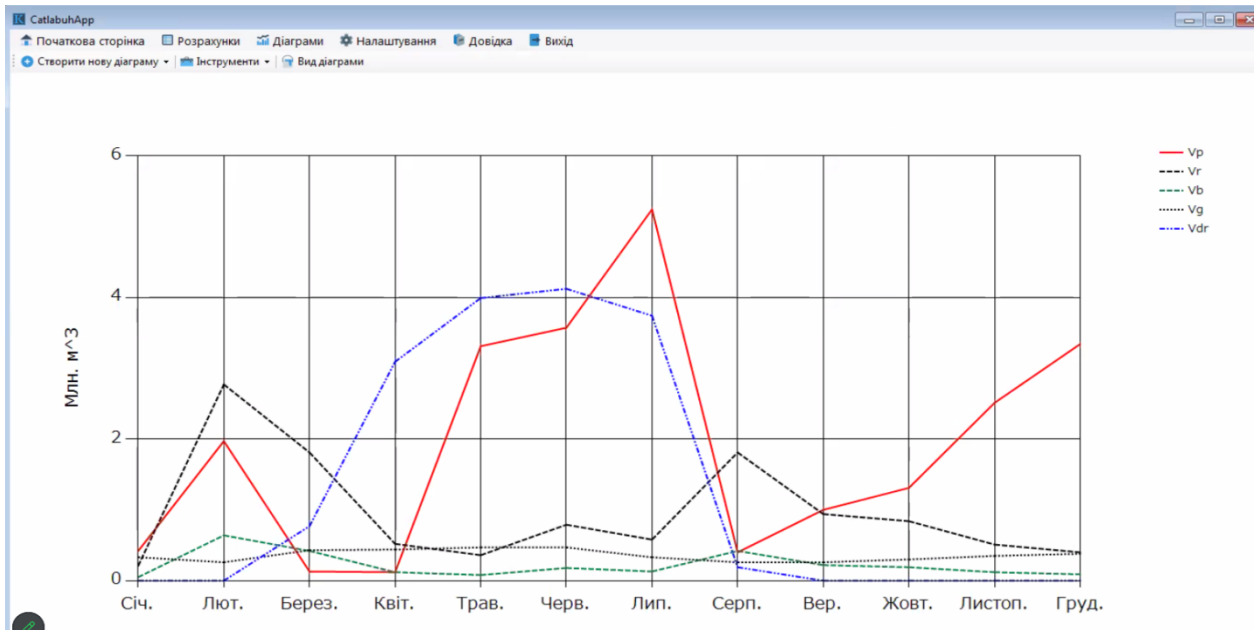


Рисунок 3.12 - Коливання у році складових приходної частини водного балансу озера Катлабух (у млн м³) у 2020 р.

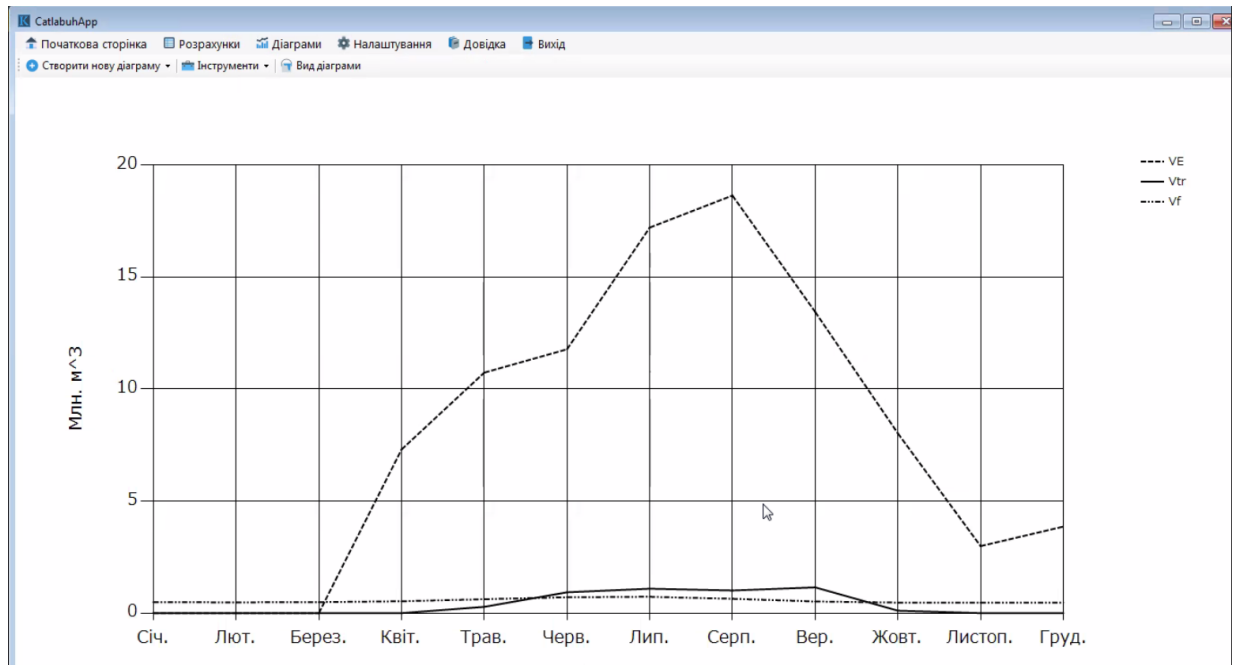


Рисунок 3.13 - Коливання у році складових витратної частини водного балансу озера Катлабух (у млн м³) у 2020 р.

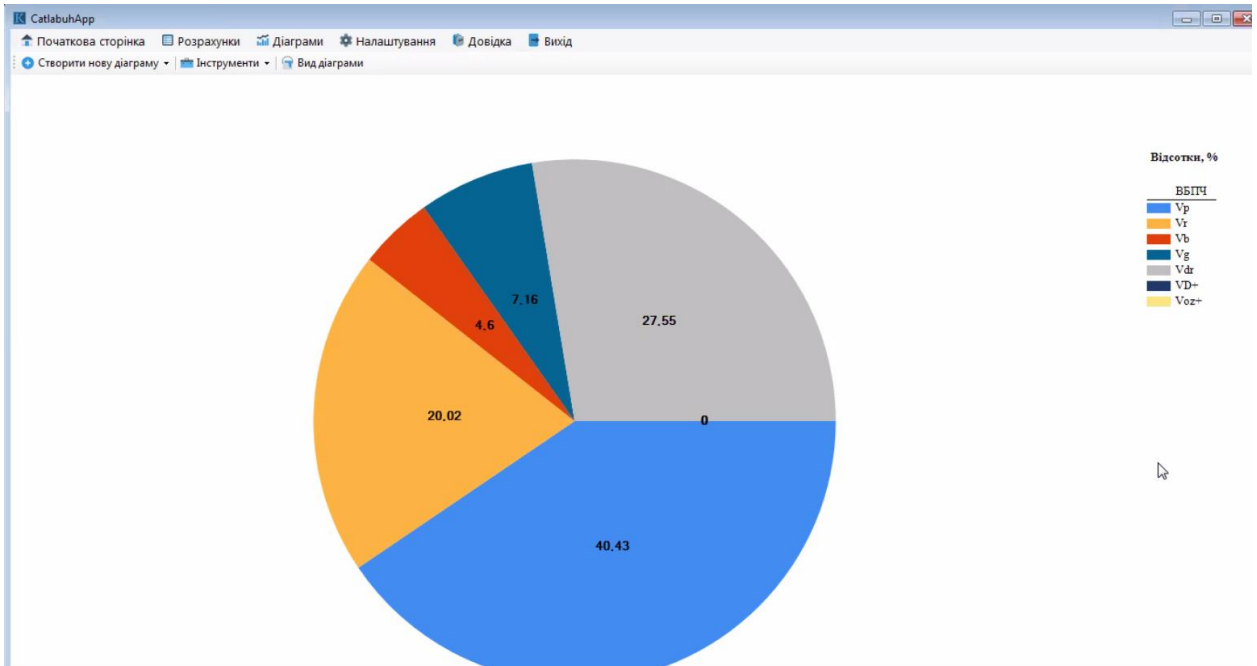


Рисунок 3.14 - Вклад приходних частин водного балансу озера Катлабух (у %) у 2020 р.

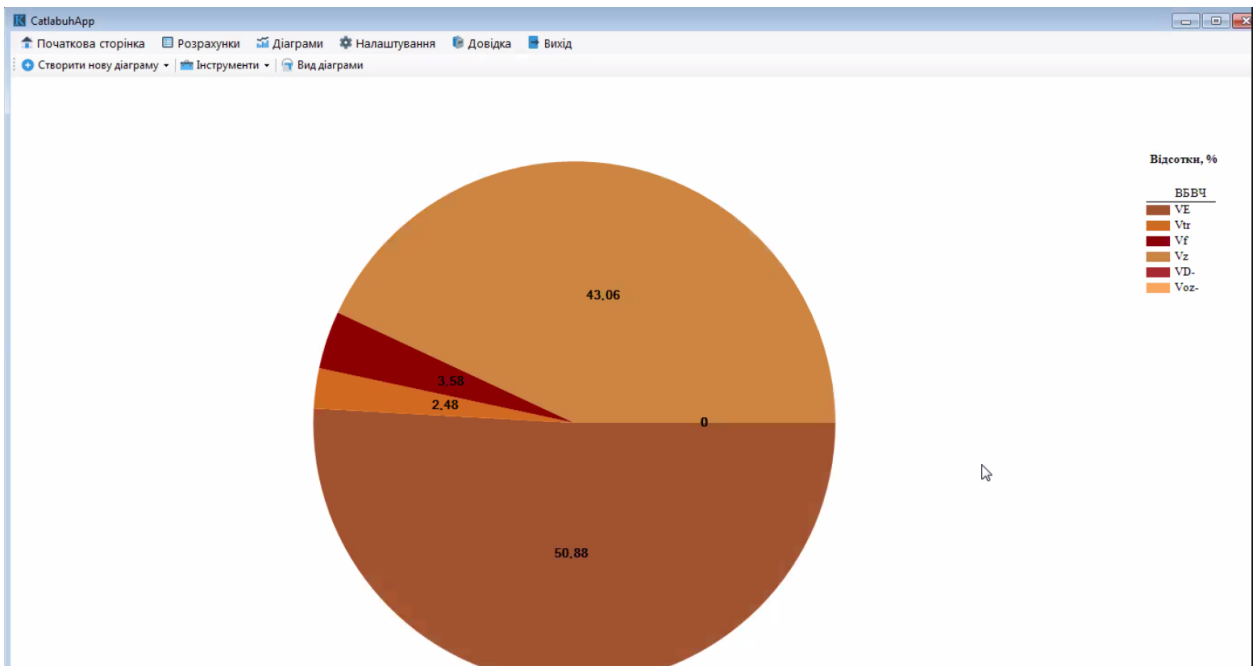


Рисунок 3.15 - Вклад витратних частин водного балансу озера Катлабух (у %) у 2020 р.

3.5.3 Узагальнена багаторічна оцінка складових опадів та випаровування у програмному комплексі «*CatlabuhApp*» для озера Катлабух

В даній роботі здійснено узагальнену багаторічну оцінку складових водних балансів таких, як об'єми опадів на водну поверхню та випаровування з водної поверхні і транспірації водною рослинністю у програмному комплексі «*CatlabuhApp*» для озера Катлабух за період 1980-2020 рр.

На рис. 3.16 і 3.17 представлений багаторічний хід цих складових водних балансів, які показують часові багаторічні коливання, що, в основному, є протифазні. Для величин об'ємів випаровування з водної поверхні озера в період з 2016 р. по 2020 р. відмічається стрімке зростання цієї складової витратної частини балансів зі зменшенням надходження об'ємів опадів на водне дзеркало водойми. Що стосується об'ємів транспірації водною рослинністю водойми, що буває у літні місяці, то вони взагалі не значні і майже є постійною витратною частиною балансів озера Катлабух.

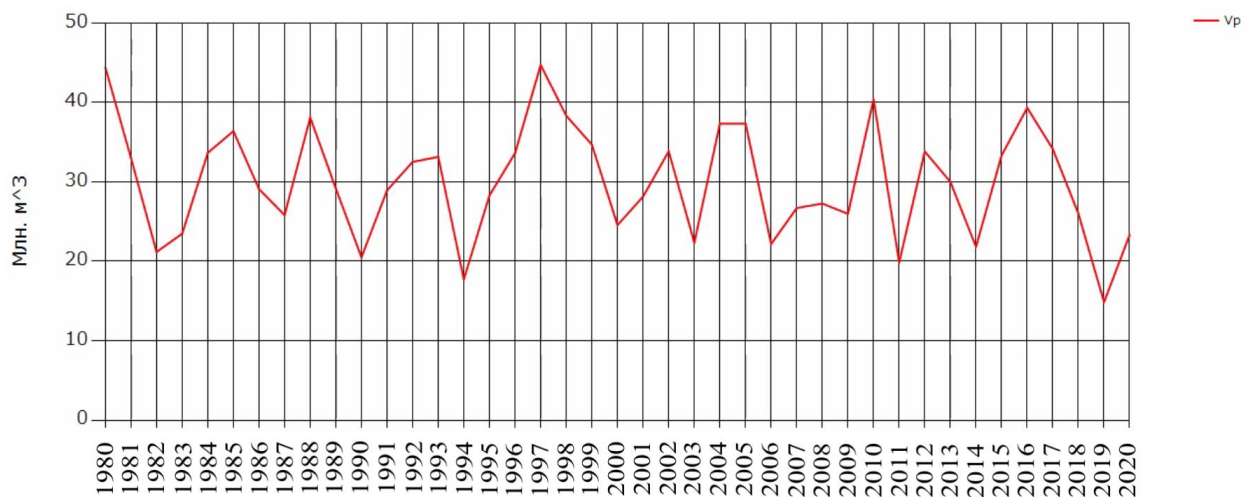


Рисунок 3.16 - Багаторічний хід об'ємів опадів на водну поверхню озера Катлабух у програмному комплексі «*CatlabuhApp*»

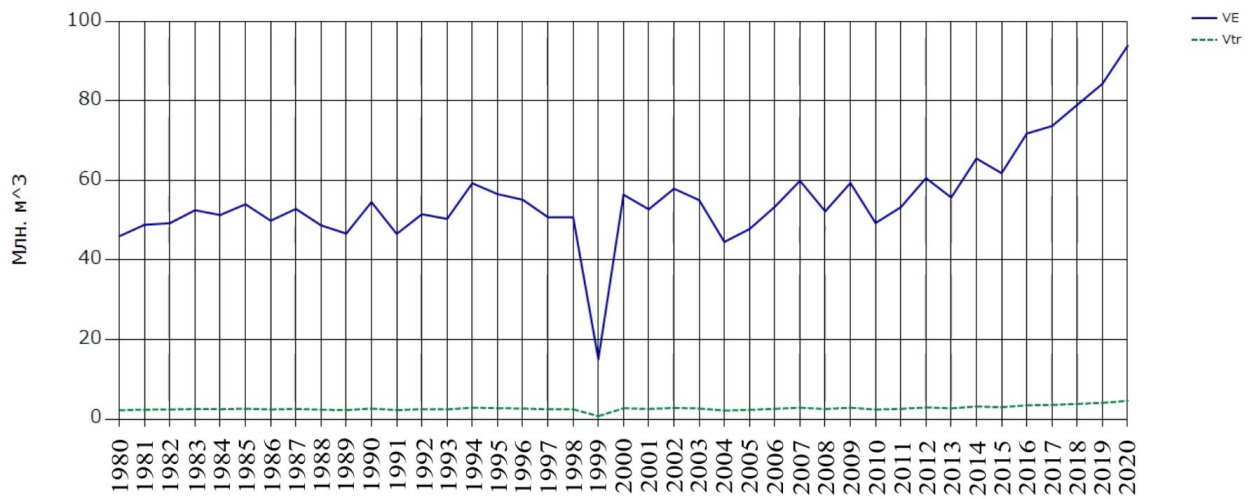


Рисунок 3.17 - Багаторічний хід об'ємів випаровування з водної поверхні і транспірації водною рослинністю у програмному комплексі «CatlabuhApp»

ВИСНОВОК

В результат виконання роботи при аналізі гідрологічного режиму озера Катлабух досліджено фізико-географічні, морфометричні, гідротехнічні характеристики озера, описані методи та визначено величину випаровування з дзеркала озера в порівнянні з опадами, як складових його водного балансу.

Зроблено такі основні висновки:

1. Озеро відокремлюється дамбою від річки Дунай і має режим водосховища. Водобмін з Кислицьким гирлом Дунаю регулюється шлюзованого каналом. Береги Катлабух складені з теоретичних вапняків (розробляються каменоломнями в селі Ташбунар), прикритих пісками і глинами з гіпсом. Південні береги озера низинні, заболочені. Північні береги підняті, місцями обривисті, розсічені балками.

Дно озера поступово поглиблюється в центральній частині водоймища. У прибережній частині воно покрито піском з домішкою глини або гальки, трохи глибше – замуленим піском, а в центральній частині – сірим мулом.

За типом озеро Катлабух є заплачним. З півночі в нього впадають річки Великий (довжина - 48 км) і Малий Катлабух.

Від основної частини озера відходять дві затоки: Ташбунарській на заході, куди впадає річка Ташбунар (довжина - 37 км) і Гасанській на сході, куди впадає річка Єніка (довжина - 26 км). Довжина Гасанського затоки - 5 км, Ташбунарського - 4 км.

2. Випаровування з поверхні водойми визначається за даними вимірів або шляхом за методами розрахунків, такими як метод водного і теплового балансу, за метеорологічними елементами. Існують й закордонні методи визначення випаровування з поверхонь.

3. Середній річний шар випаровування з водної поверхні за даними метеостанції Болград становить 819 мм (за період 1960-2020 рр.) при середньобогаторічній величині опадів - 456 мм за рік. В останні роки

спостерігається підвищення річного випаровування до 1056 мм (при опадах 578 мм) у 2016 р. до 1426 мм у 2020 р. (при опадах 358 мм).

4. Для водосховища Катлабух з штучно регулюючим водообміном з р. Дунай, випаровування з дзеркала озера є основною витратною частиною водних балансів. При цьому об'єм випаровування може бути більшим за опади на його дзеркало. Узагальнена багаторічна оцінка складових у рівняннях водних балансів показала, що основну приходну частину за 1980-2020 рр. мають об'єм опадів (35,9%), а основний об'єм витрат води є випаровування з транспірацією (53,0%).

5. В роботі використаний комп'ютерний комплекс «*CatlabuhApp*» за допомогою якого розрахований водний баланс Катлабуха і таблично й графічно наведені результати, отримані автором даної роботи.

Практичне використання отриманих результатів при використанні комп'ютерний комплексу «*CatlabuhApp*» полягає в автоматизації та зручності процесу розрахунків водного балансу озера Катлабух (при визначенні складових рівняння балансу з кроком часу в один місяць) у підрозділах Держводгоспу у Придунайському регіоні України.

Основний висновок полягає в тому, що дослідження гідрологічного стану і мінливості озера Катлабух, зокрема режиму опадів й випаровування з його водного дзеркала, дозволяють оцінити екологічні ризики маловоддя, а 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. Шакірзанова Ж.Р., Скороход Д.П., Бовдуй В.В. Визначення випаровування з поверхні водойм посушливого регіону Придунав'я. Матеріали XV міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми екології та енергозбереження», 21-22 вересня. Миколаїв, 2023. С. 85-89.

<http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/12057>

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

3. Природа Одесской области / под ред. Швевса Г.И. Изд-во «Вища школа». 1979. 141 с.

4. Алекин О. А. Основы гидрохимии. Ленинград, Гидрометеиздат, 1970. - 281с.

5. Гидроэкология украинского участка Дуная и сопредельных водоемов / Харченко Т. А., Тимченко В.М., Ковальчук А. А. и др. Київ: Наукова думка. 1993. 290 с.

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

7. Кліматичний кадастр України (6 ч.). Державна гідрометеорологічна служба. Київ, 2006, електронний ресурс.: climate_cgo@inbox.ru (дата звернення: 25.05.2023).

8. 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

<http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/9594/>

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

10. Михайлов В.Н. Гидрология дельты Дуная / под ред.

В. Н. Михайлова. Москва: ГЕОС, 2004. 449 с.

11. Електронний ресурс: <https://www.vseofishing.net/ozua4.html>
12. Гушля А.В., Мезенцев В.С. Воднобалансовы́е исследования. Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1982. 229 с.
13. Литовченко О.Ф. Інженерна гідрологія та регулювання стоку: підручник. Київ: Вища школа, 1999. 360 с.
14. Гопченко Є.Д., Лобода Н.С., Овчарук В.А. Гідрологічні розрахунки: підручник. Одеськ. держ. еколог. ун-т, Одеса: ТЕС, 2014. 484 с.
15. Указания по расчету испарения с поверхности водоемов. Ленинград: Гидрометиздат, 1969. 83 с.
16. Guide to hydrological practices. Data acquisition and processing, analysis, forecasting and other applications. WMO-No. 168. Fifth edition. World Meteorological Organization, 1994. 770 p.
17. World Meteorological Organization. Problems of Evaporation Assessment in the Water Balance (C. E. Hounam). WMO/IHD Report No. 13, 1971. WMO–No. 285, Geneva.
18. 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.
19. 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.
20. Elena Shevnina, Ekaterina Kourzeneva, Mohammad Nuruzzama. Water Balance and Thermal Regime of Lakes in Antarctic Oases. *Antarctica - A Key to Global Change*, 2018. Pp.1-15.
21. Обухов Є.В., Корягіна О.С., Корецький Є.П. Узагальнена оцінка випаровування з Каховського Водосховища. Одеса, 2012. 130 с.
22. Aldo I. Ramírez, Javier Aparicio Alfredo Ocón, Roberto Mejía-Zermeño Álvaro A. Aldama. Water balance of Chapala lake. Mexico. *Ingeniería hidráulica en México*, vol. XXI, núm. 1. enero-marzo de 2006. Pp. 5-16.

23. Степаненко С.Н., Волошин В.Г., Курышина В.Ю. Энергобалансовая модель приземного слоя атмосферы. *Украинский гидрометеорологический журнал*. 2011. № 9. С. 38-59.
24. Волошин В.Г., Степаненко С.М., Шакірманова Ж.Р., Куришина В.Ю. Застосування енергобалансової моделі приземного шару для розрахунку випаровування з водних об'єктів. [Вісник Харківського національного університету імені В.Н.Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія»](#). 2020. Вип.53. С. 104-113.
25. Актуальні проблеми лиманів північно-західного Причорномор'я: колективна монографія/ Од. держ. еколог. ун-т; за ред. Ю.С. Тучковенка, Є.Д. Гопченка. Одеса: ТЕС, 2011. 223 с.
26. Докус А.О., Антонов Д.Я., **Бовдуй В.В.** Водний баланс річкових водозборів рівнинних річок. *Тези XVIII Всеукраїнської наукової on-line конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених з міжнародною участю «Сучасні проблеми екології»*, 06 жовтня 2022 року. Житомир : Житомирська політехніка, 2022. С. 72.
27. 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, рівень вищої освіти магістр / Шакірманова Ж.Р., д-р геогр. наук, проф., Мирза К.Л., ас. Одеса, ОДЕКУ, 2021. 44 с.