

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-359-51>

УДК 004.9+303.732

КРИЖАНОВСЬКИЙ ЄВГЕНІЙ

Вінницький національний технічний університет

<https://orcid.org/0000-0003-1311-1175>e-mail: kruzhan@gmail.com**ГАЙОВИЧ АННА**

Вінницький національний технічний університет

e-mail: ann.gajovich@gmail.com**НАЮК АНДРІЙ**

Вінницький національний технічний університет

e-mail: anaiuk.stu@gmail.com**ШТЕЛЬМАХ ІГОР**

Вінницький національний технічний університет

e-mail: igor.shtelmakh@vntu.edu.ua

АНАЛІТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗА ДАНИМИ ГІДРОПОСТІВ ТА БАЛАНСІВ ДНІСТРА

Стаття зосереджена на аналітичному моделюванні гідрологічних характеристик річки Дністер по даним, отриманим з відкритих джерел: з сайту Державного агентства водних ресурсів України та Укргідрометеоцентру. Аналізувались такі показники: водогосподарські баланси басейну Дністра та дані про рівень води на гідрологічному пості "Самбір". З метою подальшої обробки дані було оброблено та структуровано в датасети.

Метою роботи є застосування методів прикладного аналізу даних для пошуку водогосподарських ділянок з критичними значеннями дефіцитів та передбачення їх гідрологічних коливань з високим рівнем точності. Для цього виконується просторово-часовий та розвідувальний аналізи, а потім здійснюється моделювання з урахуванням аномалій різними моделями часових рядів з регресійними компонентами.

Результат аналізу водогосподарських балансів виявив, що на трьох ділянках з дванадцяти існує дуже високий дефіцит, і деякі ділянки демонструють виражену нестабільність резервів між сценаріями забезпеченості, що вказує на вразливість до гідрологічних коливань. Особлива увага приділяється порівнянню різних моделей машинного навчання та статистичного аналізу, що дозволяє обрати найбільш адекватний інструмент для прогнозування. При оцінці точності моделей найкращою виявилась Prophet. За критерієм MAPE вона продемонструвала найвищу ефективність.

Проведене дослідження підтверджує високу ефективність поєднання геоінформаційних технологій та засобів статистичного аналізу в задачах прогнозування гідрологічних характеристик, зокрема моделювання рівня води. Застосування машинного навчання дозволяє отримати високу достовірність короткострокового прогнозу, що має важливе практичне значення для своєчасного прийняття рішень у сфері гідрологічного моніторингу.

Ключові слова: інформаційна технологія, водогосподарський баланс, просторово-часовий аналіз, гідрологічне моделювання, прогнозування часових рядів, Prophet.

KRYZHANOVSKYI YEVHENII**HAIOVYCH ANNA****NAIUK ANDRII****SHTELMAKH IHOR**

Vinnytsia National Technical University

ANALYTICAL MODELING OF HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS BASED ON HYDROLOGICAL STATION DATA AND WATER BALANCES OF THE DNIESTER RIVER

The article focuses on the analytical modeling of hydrological characteristics of the Dniester River using data obtained from open sources, including the website of the State Agency of Water Resources of Ukraine and the Ukrainian Hydrometeorological Center. The analysis covered key indicators such as the water management balances of the Dniester basin and water level data from the "Sambir" hydrological station. For further processing, the data were cleaned and structured into datasets.

The objective of the study is to apply data analysis methods to identify water management segments with critical deficit values and to forecast their hydrological fluctuations with a high level of accuracy. This involves performing spatiotemporal and exploratory data analyses, followed by anomaly-aware modeling using various time series models with regression components.

The analysis of water management balances revealed that three out of twelve segments exhibit a very high deficit, and some segments demonstrate pronounced instability of reserves across supply scenarios, indicating vulnerability to hydrological fluctuations. Special attention is given to the comparison of various machine learning models and statistical analyses, which allows selecting the most suitable tool for forecasting. Among the models evaluated, Prophet showed the best performance, demonstrating the highest efficiency according to the MAPE criterion.

The conducted research confirms the high effectiveness of integrating geoinformation technologies and statistical analysis tools in forecasting hydrological characteristics, particularly water level modeling. The application of machine learning enables a high degree of reliability in short-term forecasting, which is of critical practical importance for timely decision-making in hydrological monitoring and water management.

Keywords: information technology, water management balance, spatiotemporal analysis, hydrological modeling, time series forecasting, Prophet.

Стаття надійшла до редакції / Received 03.10.2025

Прийнята до друку / Accepted 15.11.2025

Вступ

Водогосподарський баланс кожного басейну річки – це важливий стратегічний інструмент. У ньому закладено основи і підґрунтя розподілу водних ресурсів, аналіз, планування, норми водоспоживання та

водовідведення. Наприклад, при видачі дозволу на спецводокористування завжди має враховуватися водогосподарський баланс того басейну, суббасейну річки, де заявники хочуть провадити діяльність [1].

В умовах зростаючого антропогенного впливу, кліматичних змін та нерівномірного розподілу водних ресурсів зростає необхідність впровадження сучасних систем моніторингу та прогнозування гідрологічних процесів. Прийняття рішень у таких системах вимагає врахування сезонної мінливості факторів, багаторічної гідрологічної інформації, просторової взаємозалежності ділянок та допустимих технічних і екологічних обмежень.

У зв'язку з цим особливої уваги потребує аналіз басейну річки Дністер, у якому система ділянок є достатньо складною. Транскордонний басейн річки Дністер розташований у межах 9% території України та охоплює 7 областей, а мережа річки включає сотні річок та десятки водосховищ.

Система басейну Дністра є типовим прикладом складного об'єкта дослідження, де для ефективного планування та управління потрібна інтеграція математичного моделювання, аналізу даних та інформаційних технологій. Для цих задач будуть корисними аналітичні платформ і бібліотеки Python, які дають змогу здійснювати повний цикл роботи з даними – від попередньої обробки й візуалізації до побудови прогнозних моделей рівня води.

Метою даної статті є реалізація можливостей комплексного підходу до аналізу гідрологічних характеристик за допомогою інструментів прикладної аналітики. Ця задача буде реалізована на прикладі басейну Дністра з використанням даних гідропостів та даних водогосподарського балансу по ділянкам басейну.

Огляд існуючих аналітичних досліджень

У сучасній практиці управління водними ресурсами зростає потреба у використанні системного підходу до аналізу водогосподарських балансів. Це особливо актуально для великих річкових басейнів, де складна взаємодія природних та антропогенних чинників призводить до нерівномірного розподілу водних ресурсів та появи дефіциту на окремих ділянках. Дослідження, присвячені моделюванню таких процесів, є ключовими для обґрунтованого прийняття рішень у водогосподарській сфері. У цьому контексті заслуговує на увагу науково-дослідна робота “Побудова та прогнозування водогосподарського балансу водогосподарської ділянки (ВГД) М5.1.4.45 р. Горинь від витоків до кордону Хмельницької та Рівненської областей” [2], де представлено методику розрахунку балансу з урахуванням як гідрологічних факторів, так і управлінських обмежень. Зокрема, у третьому розділі цієї роботи детально розглянуто формування інформаційної бази та побудову базової схеми водогосподарського балансу. Автори структурують водогосподарську ділянку як систему з різними джерелами надходжень та витрат: вхідний стік, бічний приплив, водозабори, зворотні води, втрати та транзитний стік.

В монографії [3] представлені підходи до автоматизації розрахунку водогосподарського балансу водогосподарських ділянок районів річкових басейнів України. Також в даній монографії описано комплекс методів, прийомів, алгоритмів та програмного забезпечення, яке було апробовано та впроваджено на практиці для розв'язання важливих прикладних задач у галузі розрахунку водогосподарського балансу водогосподарських ділянок районів річкових басейнів України. В цих та інших роботах відзначається важливість інтеграції просторово-часового моделювання та інформаційно-аналітичних платформ, а також загальною актуальністю процесу автоматизації розрахунку, прогнозування та аналізу водогосподарських балансів та окремих їх складових.

Розвідувальний аналіз даних басейну Дністра

Для побудови аналітичної моделі аналізу параметрів водогосподарських балансів басейну Дністра було використано офіційні дані, опубліковані на сайті Державного агентства водних ресурсів України у документі формату PDF [4]. На етапі первинної обробки було об'єднано дані за всіма ВГД Дністра у єдину таблицю, придатну для аналізу та побудови моделей машинного навчання. Отриманий структурований датасет завантажено на платформу Kaggle. Вигляд датасету наведено в таблиці 1.

В межах дослідження було створено повноцінне програмне середовище для дослідження гідрологічного стану водогосподарських ділянок басейну Дністра [5]. На першому етапі аналізу гідрологічних характеристик річки Дністер за допомогою бібліотек matplotlib та seaborn було побудовано серію лінійних графіків, що відображають динаміку дефіциту води протягом календарного року (рис. 1).

Таблиця 1

Сформований датасет

	Basin	River	Site	Code	Supply	Month	Days	Upstream_Inflow	Lateral_Inflow	Groundwater_Intake	...	Evaporation/Ice_Loss
0	Дністер	Дністер	р. Дністер від витоків до гирла р. Стрий	M5.2.0.01	50	1	31	4.6099	83.4928	1.532	...	0.0000
1	Дністер	Дністер	р. Дністер від витоків до гирла р. Стрий	M5.2.0.01	50	2	28	4.9353	91.1393	1.520	...	0.0000

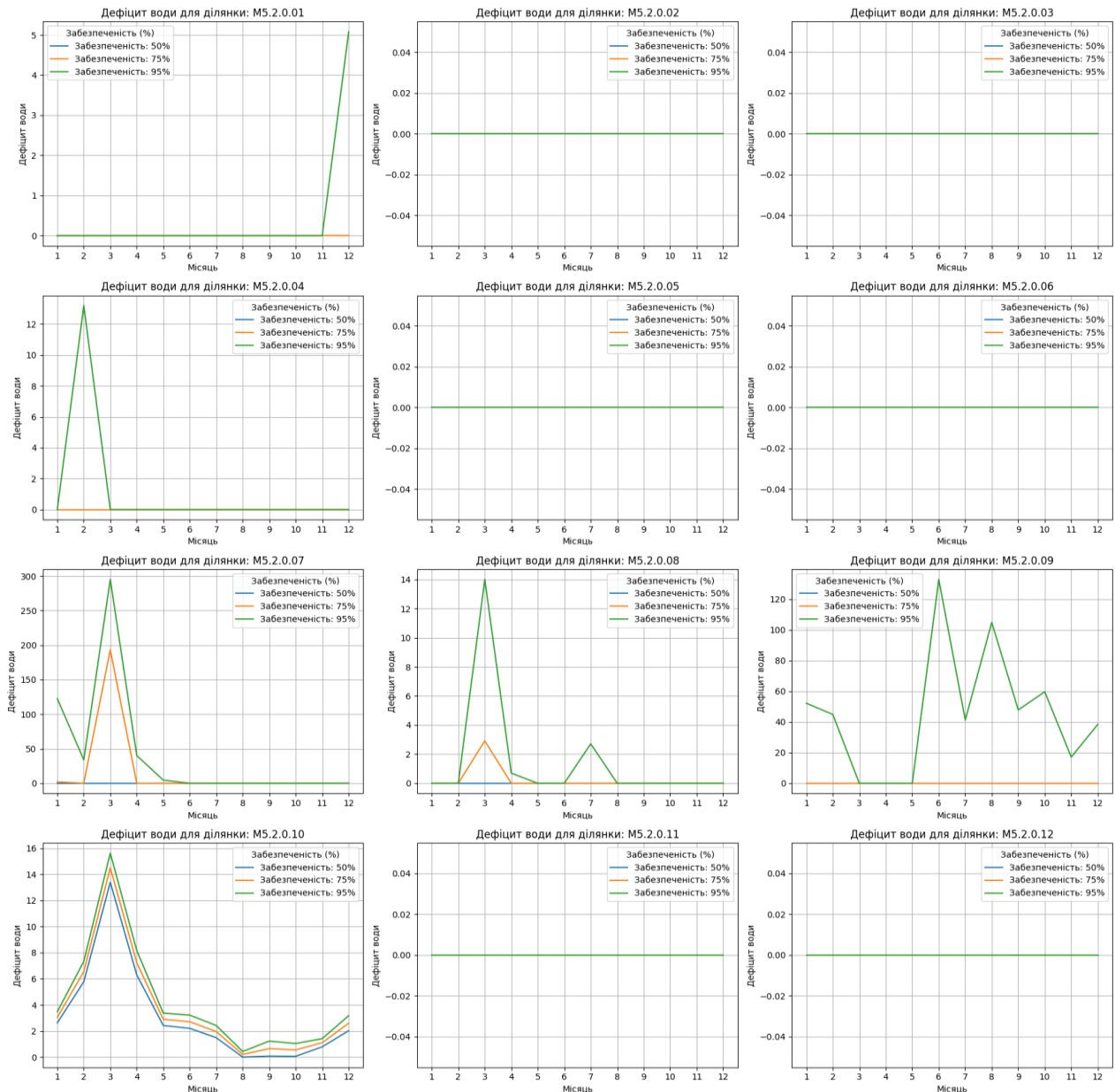


Рис. 1. Дефіцити води для водогосподарських ділянок басейну Дністра

Для кожної ділянки дефіцитів виведено окремий графік, на якому одночасно представлено криві дефіциту за трьома рівнями гідрологічної забезпеченості: 50%, 75% та 95%. Такий формат дозволяє не лише виявити найбільш критичні місяці в межах кожної ділянки, але й порівняти вплив різних сценаріїв забезпеченості на рівень дефіциту. В результаті, є можливість візуально ідентифікувати як сезонні закономірності, так і просторові відмінності у водному забезпеченні ділянок.

Крім аналізу дефіциту, ключовим аспектом дослідження є вивчення резерву води на кожній з водогосподарських ділянок. Це особливо важливо для оцінки потенційної спроможності території витримати коливання попиту або погодні аномалії. Для цього було побудовано окрему серію графіків динаміки водних резервів, за аналогією з графіками дефіцитів (рис. 2). Кожна діаграма відображає зміну резерву води впродовж року для конкретної ділянки при трьох сценаріях забезпеченості. Аналіз резервів дозволяє оцінити, наскільки стабільним є водозабезпечення на різних рівнях гідрологічних умов і чи вистачає резервів для усунення можливих дефіцитів, які було проаналізовано на попередніх графіках.

Поєднання цих двох блоків – графіків дефіциту та резервів води – дає змогу здійснити балансну оцінку водного потенціалу ділянок. Наприклад, якщо для певної ділянки спостерігається високий дефіцит та одночасно низький резерв, то це є ознакою критичної вразливості, яка вимагає інфраструктурного втручання або перегляду режиму водокористування. Також, ці графіки слугують інструментом для порівняльного аналізу між ділянками. Можна виявити території з найвищим коливанням резерву, імовірно нестабільністю водопостачання або навпаки – зі стабільними запасами, які можуть використовуватись для підтримки сусідніх регіонів.

З метою просторової оцінки дефіциту було реалізовано картографічну візуалізацію за допомогою бібліотеки GeoPandas (рис. 3). Створено кольорову мапу, на якій кожна ділянка відображає рівень дефіциту у відповідній кольоровій гамі.

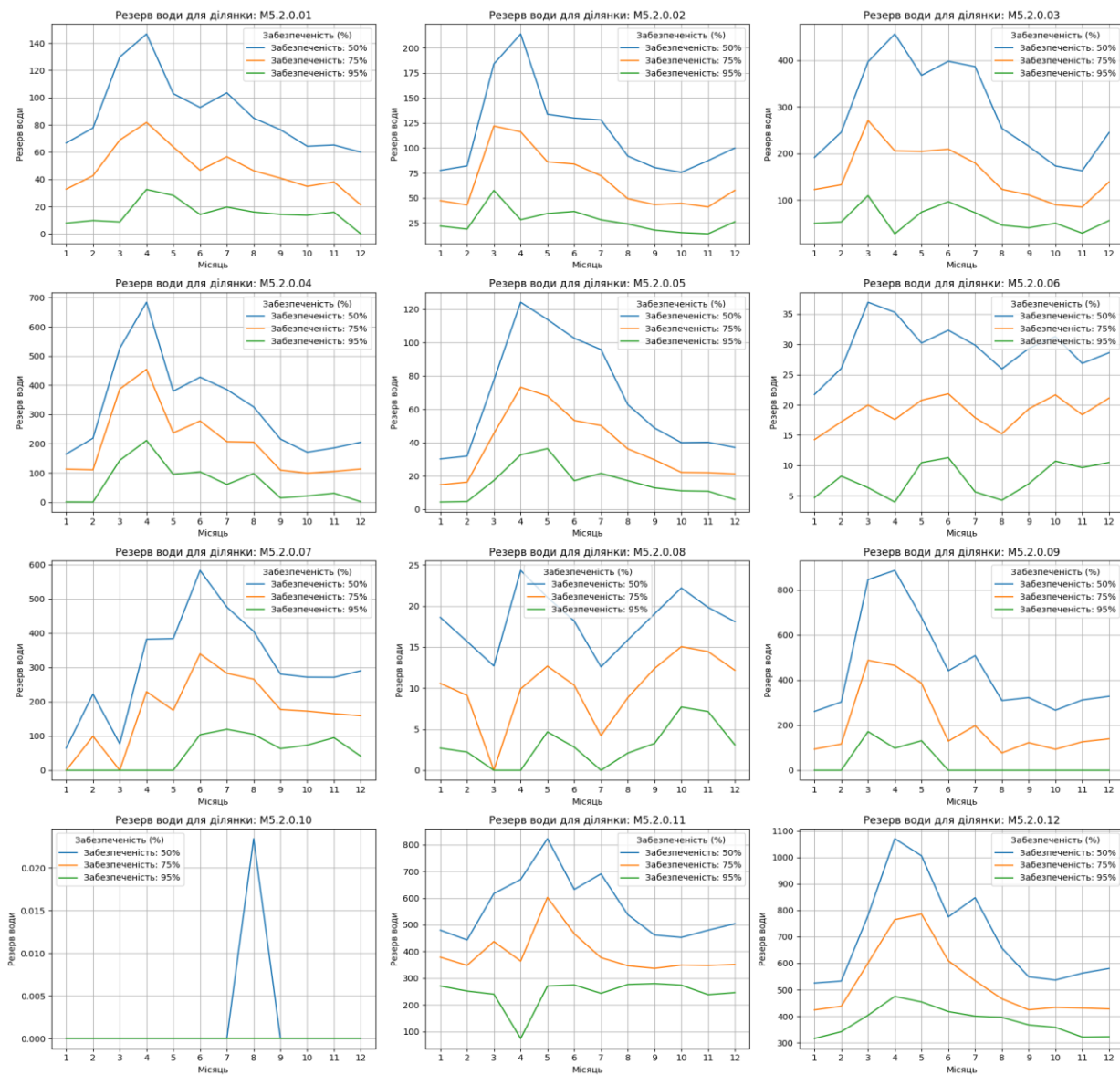


Рис. 2. Резерв води для водогосподарських ділянок басейну Дністра

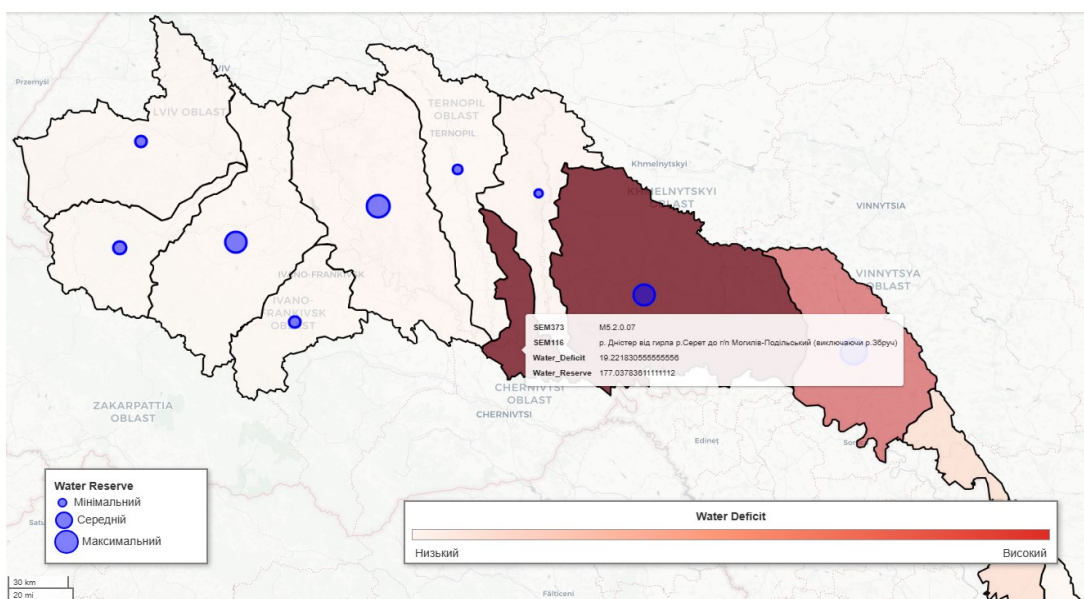


Рис. 3. Інтерактивна карта дефіцитів та резервів води на водогосподарських ділянках

Крім того, нанесено кругові маркери на центроїдах ділянок, радіус яких пропорційний обсягу резерву. Також, за допомогою бібліотеки folium було додано легенди для кожної водогосподарської ділянки.

Результатом наступного етапу аналізу гідрологічних параметрів стало детальне вивчення водогосподарських ділянок з критичними значеннями дефіциту та резерву.

Аналіз дефіцитів (рис. 1) показав чітку просторову неоднорідність та сезонність. Так, на більшості ділянок, де дефіцит фіксується, його пік припадає на весняно-літній період (переважно березень-травень). У зимові місяці дефіцит практично відсутній, що відповідає зниженому водоспоживанню та зростанню стоку. Особливо критичними виявилися ділянки з кодами M5.2.0.07, M5.2.0.09 та M5.2.0.10. Зокрема, для M5.2.0.07 у березні зафіксовано надзвичайно високий дефіцит води – майже 300 млн м³ при 95% забезпеченості. Подібна ситуація спостерігається і на ділянці M5.2.0.10, де дефіцит зберігається протягом усього року, навіть за забезпеченості 50%, що може свідчити про хронічне недозабезпечення на фоні сталого попиту. Натомість ділянки M5.2.0.02, M5.2.0.03, M5.2.0.05, M5.2.0.06, M5.2.0.11 та M5.2.0.12 демонструють нульовий або мінімальний дефіцит за всіма сценаріями, що вказує на їхню водогосподарську стабільність.

Аналогічно було проаналізовано графіки динаміки водних резервів (рис. 2). На всіх ділянках простежується зменшення запасів у літні місяці з накопиченням у весняний період. Деякі ділянки демонструють виражену нестабільність резервів між сценаріями забезпеченості, що вказує на вразливість до гідрологічних коливань.

В рамках дослідження виконано розвідувальний аналіз (EDA) 20 числових характеристик, спрямований на дослідження структури даних, виявлення статистичних закономірностей, зв'язків між ключовими змінними та їх просторово-часову динаміку.

Було проведено візуальне дослідження розподілів числових змінних у вибірці, зокрема таких як: Groundwater_Intake, Return_Flow, Water_Reserve, Water_Deficit та ін. За допомогою histplot з використанням оцінки щільності розподілу (kde=True) було побудовано серію гістограм, які дозволили візуально оцінити характер кожної змінної (рис. 4).

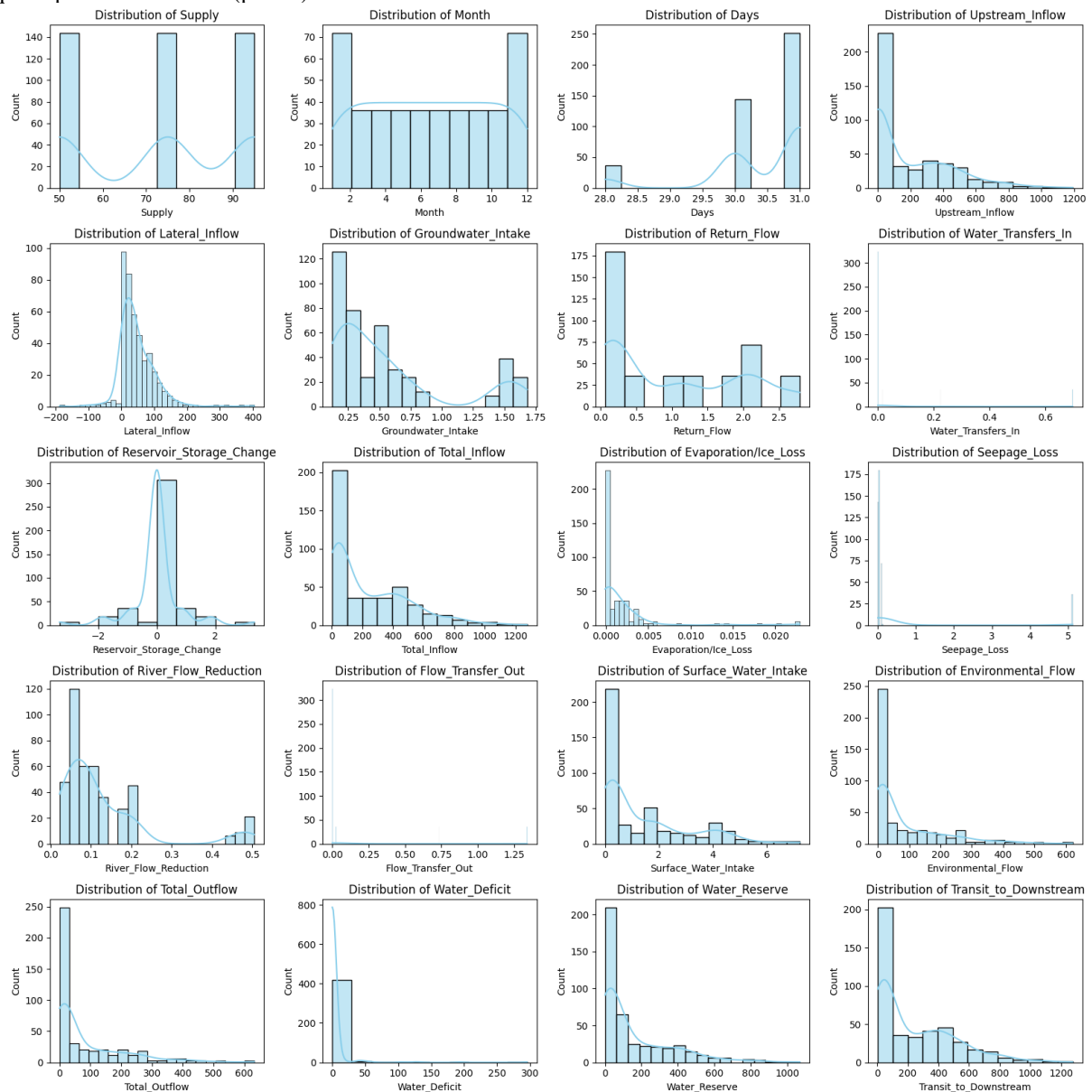


Рис. 4. Гістограми розподілу числових характеристик

Аналіз розподілів показав, що більшість змінних мають правосторонню асиметрію, зокрема Water_Deficit, що свідчить про наявність значної кількості випадків із низьким дефіцитом і поодинокими – з надзвичайно високими значеннями. Це підтверджує гіпотезу про нерівномірний розподіл дефіциту серед ділянок: лише деякі з них мають критично високі втрати води. Натомість резерв води (Water_Reserve) демонструє більш симетричний розподіл, однак також демонструє значну варіативність значень і наявність асиметрії. Це вказує на те, що хоча більшість ділянок мають середні значення резерву, існують як ділянки з дуже низькими, так і з дуже високими показниками.

В рамках проведення кореляційного аналізу було побудовано матрицю парних кореляцій Пірсона [6] і реалізовано її у вигляді теплової матриці (рис. 5). Візуалізація засобами seaborn.heatmap із кольоровою палітрою Spectral дозволила виокремити найбільш значущі зв'язки. Аналіз показав наявність як сильних позитивних, так і негативних кореляцій між окремими змінними, що свідчить про складну структуру взаємодії елементів водогосподарського балансу. Серед цікавих зв'язків слід відзначити сильну позитивну кореляцію між Seepage_Loss та Flow_Transfer_Out ($r = 0.87$), що може вказувати на технічно зумовлену одночасну передачу води на інші ділянки та втрати через фільтрацію. Помірна позитивна кореляція між Return_Flow та River_Flow_Reduction ($r = 0.42$) вказує на роль зворотних вод у забезпеченні повторного водокористування.

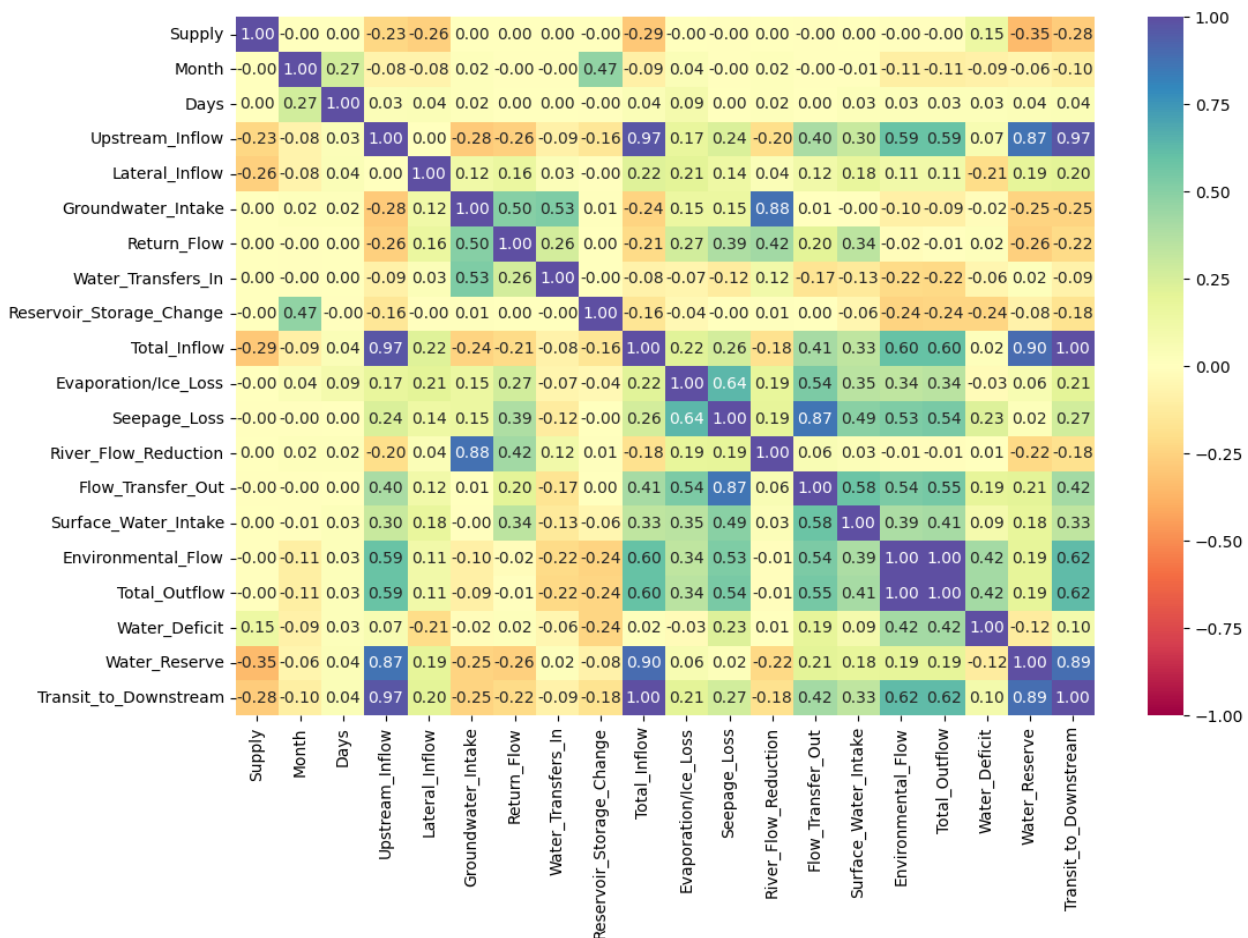


Рис. 5. Кореляційна матриця

Порівняння точності моделей машинного навчання для прогнозування рівня води

У ході дослідження було створено окремий ноутбук “Water level – EDA & forecasting” [7], який реалізовує повний цикл аналізу та моделювання рівня води за реальними спостереженнями гідрологічного посту “Самбір” у басейні річки Дністер. Дані про рівень води було отримано з відкритих ресурсів Укргідрометеоцентру [8]. У роботі використовувались погодинні спостереження за рівнем води протягом 2024 року, які було агреговано до середньодобових значень та адаптовано для задачі регресійного прогнозування.

Важливою частиною попереднього аналізу даних і підготовки до моделювання є виявлення аномалій у часовому ряді. Їх наявність може спотворити результати навчання моделей та знизити точність прогнозу, тому їх ідентифікація і, за потреби, обробка є необхідною. На рисунку 6 приведено блок-схема алгоритму прогнозування рівнів води для гідропостів басейну Дністра.



Рис. 6. Блок-схема алгоритму прогнозування рівнів води для гідропостів басейну Дністра

Результатами аналізу часового ряду рівня води на гідрологічному пості “Самбір” є датафрейм з аномальними даними, який представлений в таблиці 2.

Таблиця 2

Датафрейм з аномальними датами для моделі Prophet

	ds	lower_window	upper_window	prior_scale	holiday
0	2024-02-06	0	0	10	anomalous_dates
1	2024-03-30	0	0	10	anomalous_dates
2	2024-06-18	0	0	10	anomalous_dates
3	2024-07-03	0	0	10	anomalous_dates
4	2024-08-04	0	0	10	anomalous_dates
5	2024-08-06	0	0	10	anomalous_dates
6	2024-08-22	0	0	10	anomalous_dates
7	2024-09-15	0	0	10	anomalous_dates
8	2024-10-06	0	0	10	anomalous_dates
9	2024-10-12	0	0	10	anomalous_dates
10	2024-12-19	0	0	10	anomalous_dates

Для прогнозування рівня води було побудовано такі моделі, як: Prophet, ARIMA_auto, Support Vector Machines, Linear SVR, XGB Regressor, Linear Regression, Random Forest Regressor, Bagging Regressor, KNeighbors Regressor та MLP Regressor. Кожну модель було навчено на одному і тому ж наборі ознак, які містять дату та дані про середній рівень води у відповідний день. Після побудови моделей було проведено оцінку їх точності метриками RMSE (Root Mean Squared Error) та MAPE (Mean Absolute Percentage Error). Результати порівняння моделей подано в таблиці 3.

Таблиця 3

Порівняльна таблиця точності моделей

	name_model	type_data	rmse	mape
3	Prophet_120_days_12_order	valid	5.774616	1.990526
1	Prophet_90_days_12_order	valid	4.958168	2.507532
0	Prophet_90_days_3_order	valid	10.004556	4.696355
2	Prophet_120_days_3_order	valid	10.193718	4.752827
4	ARIMA_auto	valid	18.796533	9.748766
7	Support Vector Machines	valid	19.604184	10.238392
8	Linear SVR	valid	20.571144	10.715677
11	XGB Regressor	valid	21.790427	11.294953
5	Linear Regression	valid	22.396888	11.642071
9	Random Forest Regressor	valid	23.039506	11.963893
10	Bagging Regressor	valid	23.459753	12.274336
6	KNeighbors Regressor	valid	23.741567	12.398002
12	MLP Regressor	valid	24.24602	12.571904

Найефективнішою за критерієм оптимальності MAPE виявилася модель Prophet із параметрами, позначеними як Prophet_120_days_12_order. Це конфігурація моделі Prophet, яка враховує сезонні коливання тривалістю 120 днів, що дозволяє точно змоделювати циклічні зміни рівня води.

Ключовим елементом конфігурації було також врахування аномальних дат, що дозволило моделі окремо моделювати вплив екстремальних подій – наприклад, паводків чи техногенних коливань – і не включати їх у загальну сезонну або трендову компоненту. Це значно покращило інтерпретованість і точність прогнозу.

Графік на рисунку 7 ілюструє прогнозовані значення рівня води разом із фактичними спостереженнями за 2024 рік. Чорні крапки на графіку відповідають реальним значенням рівня води, зібраним протягом року, тоді як суцільна синя лінія – це прогноз моделі, побудований на основі попередніх значень. Навколо синьої лінії зображено світло-синю зону, яка відображає довірчі інтервали, що вказують на межі можливої похибки прогнозу. Ширина цієї зони в різні періоди змінюється, що демонструє зміну рівня невизначеності в оцінках моделі. Модель успішно вловлює сезонні коливання рівня води, включаючи характерні весняні та літні підйоми, що свідчить про ефективне навчання на історичних даних. Також модель реагує на окремі пікові значення, хоча деякі з них виходять за межі довірчих інтервалів, що свідчить про присутність аномалій у даних.

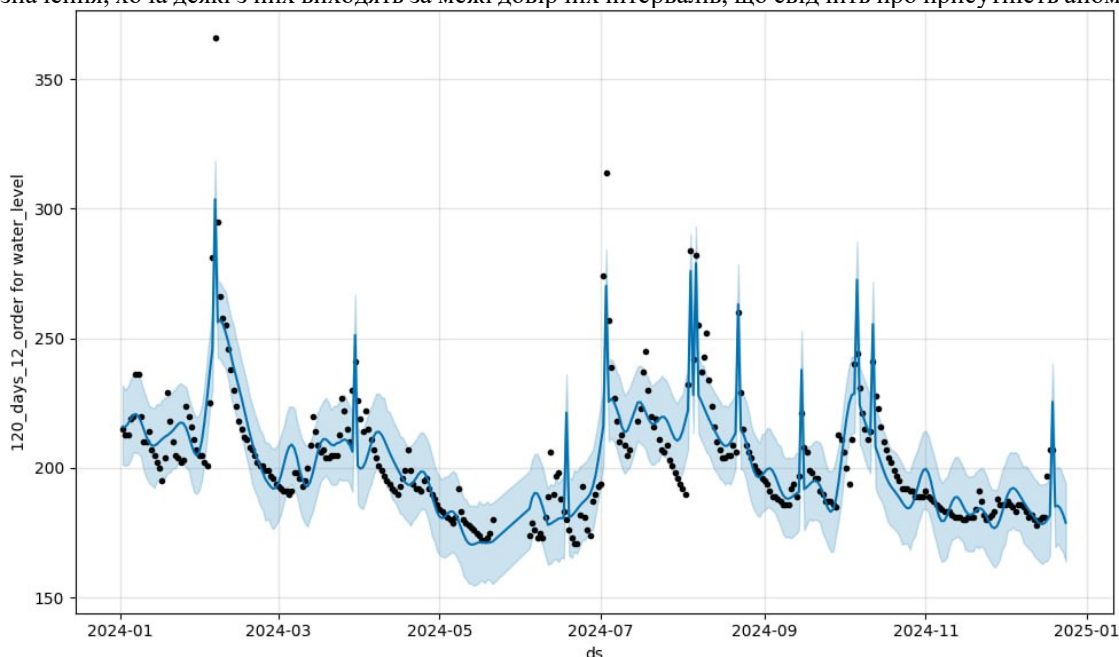


Рис. 7. Результат навчання моделі Prophet_120_days_12_order

На рисунку 8 продемонстровано результати порівняння фактичних спостережень із прогнозними значеннями на тестовому періоді, що охоплює 5 днів.

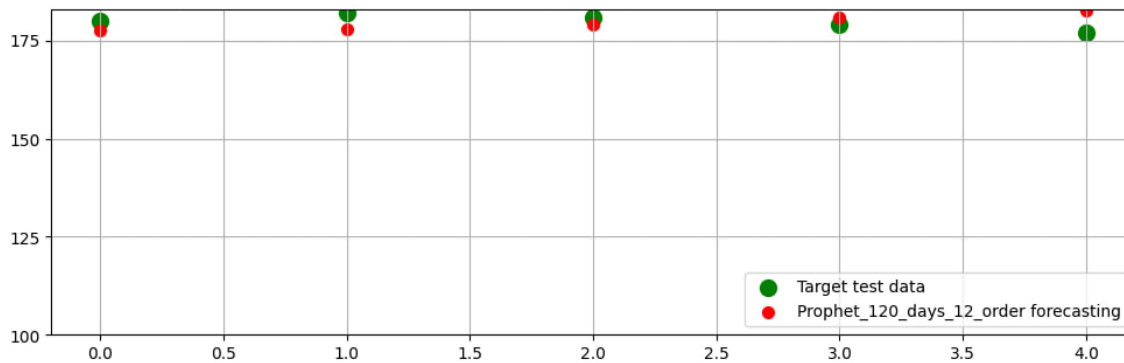


Рис. 8. Результати 5-денного прогнозування рівня води на тестовому наборі даних за допомогою моделі Prophet_120_days_12_order

Зелені точки на графіку відповідають реальним значенням рівня води, зібраним у тестовому наборі, тоді як червоні точки позначають прогноз, згенерований навченою моделлю. Візуальний аналіз свідчить про високу точність прогнозу: передбачені значення тісно прилягають до фактичних, що підтверджує здатність моделі адекватно узагальнювати закономірності з тренувального періоду та переносити їх на нові, раніше не використані дані. Незначне відхилення між окремими точками може бути пов'язане з впливом зовнішніх факторів, не врахованих моделлю.

Результат прогнозування свідчить про високу ефективність застосованої моделі Prophet_120_days_12_order для короткострокового прогнозування рівня води. Модель демонструє здатність точно відтворювати тенденції зміни рівня на горизонті п'яти днів, що має важливе практичне значення для своєчасного прийняття рішень у сфері гідрологічного моніторингу, водного менеджменту та запобігання можливим надзвичайним ситуаціям. Незначні розбіжності, зафіксовані у деяких точках, можуть бути спричинені випадковими відхиленнями або аномальними подіями, які не мали аналогів у тренувальному наборі, однак ці відхилення не мають суттєвого впливу на загальний рівень точності. Висока якість короткострокового прогнозування вказує на доцільність подальшого використання цієї моделі для задач аналізу й оцінки динаміки рівня води, зокрема в умовах змін клімату, зростання частоти екстремальних погодних явищ і необхідності швидкого реагування на потенційні гідрологічні загрози.

Висновки

Для дослідження гідрологічного стану ділянок Дністра було створено ноутбук на платформі Kaggle. Вхідною інформацією послуговували дані з сайту Державного агентства водних ресурсів України. Їх було оброблено та структуровано в датасет.

Здійснено розвідувальний аналіз, який включав дослідження структури 20 числових характеристик водогосподарського балансу, виявлення статистичних закономірностей та ідентифікацію аномалій. В ході просторово-часового аналізу було побудовано криві дефіцитів та резервів за трьома рівнями гідрологічної забезпеченості: 50%, 75%, 95% та виконано їх аналіз. З метою просторової оцінки реалізовано інтерактивну карту, яка дозволяє отримувати повну картину щодо розподілу водних ресурсів на досліджуваному басейні в розрізі водогосподарських ділянок. Виявлено ділянки з найбільшими дефіцитами, та для них створено окремий ноутбук, який виконує повний цикл аналізу та моделювання рівня води за реальними спостереженнями гідрологічного посту "Самбір". На основі даних гідрологічних спостережень, отриманих з відкритих ресурсів Укргідрометеоцентру, сформований датасет.

Здійснено прогнозування рівня води різними моделями: Prophet, ARIMA_auto, Support Vector Machines, Linear SVR, XGB Regressor, Linear Regression, Random Forest Regressor, Bagging Regressor, KNeighbors Regressor та MLP Regressor. Оцінка точності цих моделей показала, що найвищу ефективність за критерієм мінімізації середньої абсолютної відносної похибки (MAPE) продемонструвала модель Prophet_120_days_12_order (RMSE = 5.77, MAPE = 1.99%).

Література

1. Водогосподарські баланси основних районів річкових басейнів [Електронний ресурс] // Державне агентство водних ресурсів України. – Режим доступу: <https://davr.gov.ua/vodogospodarski-balansi-osnovnih-rajoniv-richkovih-basejniv> (дата звернення: 19.08.2025). – Назва з екрана.
2. Мокін В. Б. Побудова та прогнозування водогосподарського балансу водогосподарської ділянки М5.1.4.45 р. Горинь від витоку до кордону Хмельницької та Рівненської областей [Електронний ресурс] / Віталій Борисович Мокін // Національний репозитарій академічних текстів. – Режим доступу: <https://nrat.ukrintei.ua/searchdoc/0224U033394/> (дата звернення: 19.08.2025). – Назва з екрана.

3. Мокін В. Б. Методи оцінювання та засоби автоматизації розрахунку складових водогосподарського балансу районів річкових басейнів України : монографія / В. Б. Мокін, В. В. Гребін, Є. М. Крижановський. – Вінниця : ВНТУ, 2023. – 168 с. – ISBN 978-966-641-948-7

4. Водогосподарський баланс для району басейну річки Дністер [Електронний ресурс] // Державне агентство водних ресурсів України. – Режим доступу: https://www.davr.gov.ua/fls18/balans_dnister.pdf (дата звернення: 19.08.2025). – Назва з екрана.

5. Haiovych A. M. Dnister Balance EDA & Visualization [Електронний ресурс] / А. М. Haiovych // Kaggle. – Режим доступу: <https://www.kaggle.com/code/annhaiovych/dnister-balance-eda-visualization> (дата звернення: 19.08.2025). – Назва з екрана.

6. Data Science - Statistics Correlation Matrix [Електронний ресурс] // W3Schools Online Web Tutorials. – Режим доступу: https://www.w3schools.com/datascience/ds_stat_correlation_matrix.asp (дата звернення: 19.08.2025). – Назва з екрана.

7. Haiovych A. M. Water level - EDA & forecasting [Електронний ресурс] / А. М. Haiovych // Kaggle. – Режим доступу: <https://www.kaggle.com/code/annhaiovych/water-level-eda-forecasting> (дата звернення: 19.08.2025). – Назва з екрана.

8. Дані автоматичних гідрологічних постів [Електронний ресурс] // Український гідрометеорологічний центр Державної служби України з надзвичайних ситуацій. – Режим доступу: <https://www.meteo.gov.ua/ua/Dani-avtomatichnikh-hidrolohichnikh-postiv> (дата звернення: 19.08.2025). – Назва з екрана.

References

1. Vodohospodarski balansy osnovnykh raioniv richkovykh baseiniv [Elektronnyi resurs] // Derzhavne ahentstvo vodnykh resursiv Ukrainy. – Mode of access: <https://davr.gov.ua/vodogospodarski-balansi-osnovnih-raioniv-richkovih-baseiniv> (data zvernennia: 19.08.2025). – Nazva z ekrana.

2. Mokin V. B. Pobudova ta prohnouzuvannia vodohospodarskoho balansu vodohospodarskoi dilianky M5.1.4.45 r. Horyn vid vytoku do kordonu Khmelnytskoi ta Rivnenskoï oblasti [Elektronnyi resurs] / Vitalii Borysovykh Mokin // Natsionalnyi repozytarii akademichnykh tekstiv. – Rezhym dostupu: <https://nrat.ukrintei.ua/searchdoc/0224U033394/> (data zvernennia: 19.08.2025). – Nazva z ekrana.

3. Mokin V. B. Metody otsiniuvannia ta zasoby avtomatyzatsii rozrakhunku skladovykh vodohospodarskoho balansu raioniv richkovykh baseiniv Ukrainy : monohrafiia / V. B. Mokin, V. V. Hrebin, Ye. M. Kryzhanovskiy. – Vinnytsia : VNTU, 2023. – 168 s. – ISBN 978-966-641-948-7

4. Vodohospodarskyi balans dlia raionu baseinu richky Dnister [Elektronnyi resurs] // Derzhavne ahentstvo vodnykh resursiv Ukrainy. – Mode of access: https://www.davr.gov.ua/fls18/balans_dnister.pdf (data zvernennia: 19.08.2025). – Nazva z ekrana.

5. Haiovych A. M. Dnister Balance EDA & Visualization [Elektronnyi resurs] / A. M. Haiovych // Kaggle. – Mode of access: <https://www.kaggle.com/code/annhaiovych/dnister-balance-eda-visualization> (data zvernennia: 19.08.2025). – Nazva z ekrana.

6. Data Science - Statistics Correlation Matrix [Elektronnyi resurs] // W3Schools Online Web Tutorials. – Mode of access: https://www.w3schools.com/datascience/ds_stat_correlation_matrix.asp (data zvernennia: 19.08.2025). – Nazva z ekrana.

7. Haiovych A. M. Water level - EDA & forecasting [Elektronnyi resurs] / A. M. Haiovych // Kaggle. – Rezhym dostupu: <https://www.kaggle.com/code/annhaiovych/water-level-eda-forecasting> (data zvernennia: 19.08.2025). – Nazva z ekrana.

8. Dani avtomatichnykh hidrolohichnykh postiv [Elektronnyi resurs] // Ukrainskyi hidrometeorologichnyi tsentr Derzhavnoi sluzhby Ukrainy z nadzvychainykh sytuatsii. – Mode of access: <https://www.meteo.gov.ua/ua/Dani-avtomatichnikh-hidrolohichnikh-postiv> (data zvernennia: 19.08.2025). – Nazva z ekrana.