

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ВОДОГОСПОДАРСЬКИХ БАЛАНСІВ ДІЛЯНОК БАСЕЙНУ ДНІСТРА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

У роботі розглянуто питання системного аналізу водогосподарських балансів ділянок басейну Дністра. Проведено структурування гідрологічних даних, реалізовано візуалізацію просторово-часової динаміки дефіциту води, побудовано моделі машинного навчання для прогнозування рівня води на гідропості Самбір. Проведено порівняння точності моделей Facebook Prophet, AutoARIMA та мультифакторних регресійних моделей. Результати дослідження можуть бути використані для прийняття обґрунтованих рішень у сфері управління водними ресурсами.

Ключові слова: системний аналіз, водогосподарський баланс, гідрологічні дані, дефіцит води, машинне навчання, прогнозування, басейн Дністра.

Abstract

The paper examines the problem of systemic analysis of water management balances in the Dniester river basin. Hydrological data were structured, spatial-temporal visualization of water deficit dynamics was implemented, and machine learning models were built to forecast water levels at the Sambir hydropost. Accuracy of the Facebook Prophet, AutoARIMA, and multifactor regression models was compared. The obtained results can be used for informed decision-making in water resource management.

Keywords: systems analysis, water management balance, hydrological data, water deficit, machine learning, forecasting, Dniester basin.

Вступ

Сучасні інформаційні технології відіграють ключову роль у прийнятті управлінських рішень, особливо в умовах зростання екологічних викликів і нестабільності природних ресурсів. Однією з критично важливих сфер, де їх застосування має стратегічне значення, є управління водними ресурсами. Басейн річки Дністер забезпечує водопостачання мільйонам мешканців, аграрному та промислового секторам, водночас перебуваючи під впливом сезонних коливань, кліматичних змін і зростаючого водозабору. Періодичні дефіцити води на окремих водогосподарських ділянках спричиняють екологічні, соціальні та економічні ризики.

Актуальність дослідження полягає в необхідності інтеграції просторово-часового аналізу, інструментів візуалізації та прогнозних моделей для виявлення зон ризику водного дефіциту, підвищення ефективності використання водних ресурсів і підтримки прийняття рішень на рівні басейнового управління. Застосування методів машинного навчання, зокрема моделей Prophet, ARIMA та ансамблевих регресій, відкриває нові можливості для моделювання гідрологічної динаміки з урахуванням сезонності, аномалій та невизначеності. У роботі реалізовано комплексну аналітичну систему, що охоплює візуалізацію дефіцитів та резервів водних ресурсів та прогнозування рівня води на гідропості Самбір. Усі результати базуються на відкритих офіційних даних [1-4], з використанням сучасного інструментарію аналітики на платформі Kaggle [5-7] та з урахуванням методичних підходів, викладених у працях [1, 2].

Результати дослідження

У межах роботи було реалізовано аналітичну систему для дослідження водогосподарських балансів басейну річки Дністер. На першому етапі здійснено обробку та структурування вхідних даних про об'єкти управління – водогосподарські ділянки.

Візуалізація результатів представлена на рисунках 1 – 2. Зокрема, на рисунку 1 наведено значення дефіциту води для кожної ділянки басейну Дністра.

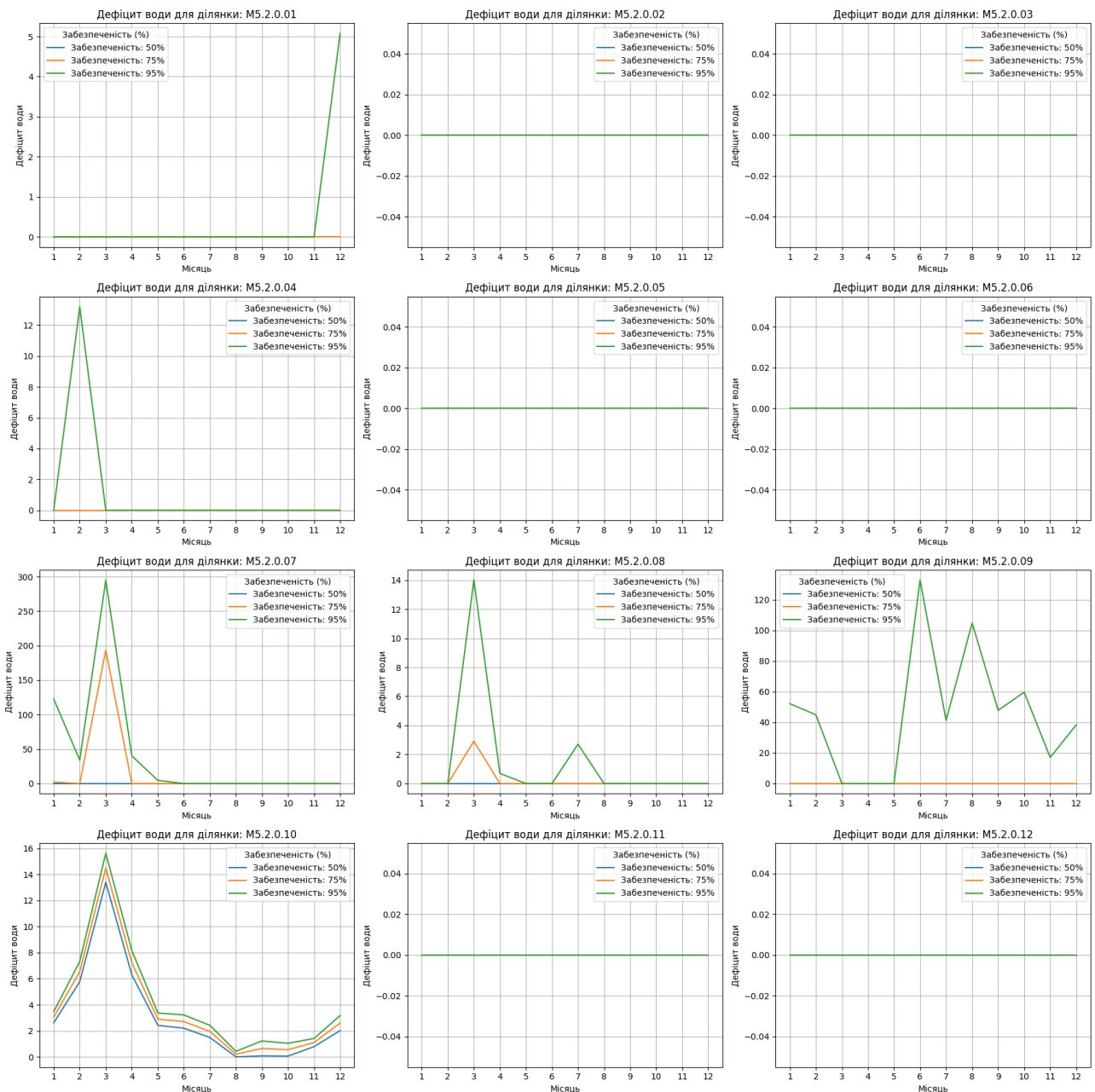


Рисунок 1 – Дефіцит води для ділянок басейну Дністра

Найвищі значення дефіциту зафіксовано у середній частині басейну, що дозволяє оперативно ідентифікувати критичні зони.

На рисунку 2 зображено інтерактивну карту, де дефіцит води відображено відтінками червоного кольору, а резерви – синіми колами різного розміру. Такий підхід дає змогу одночасно оцінювати просторовий дисбаланс у забезпеченості водними ресурсами.

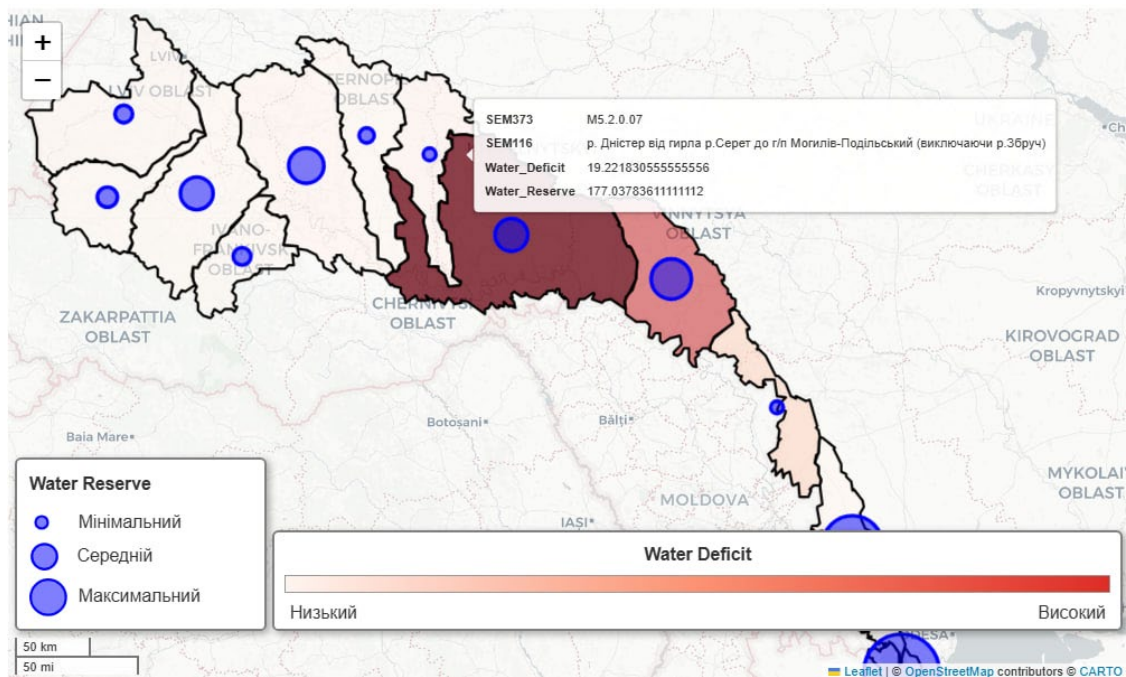


Рисунок 2 – Інтерактивна карта дефіцитів та резервів води по водогосподарських ділянках

На наступному етапі дослідження побудовано моделі машинного навчання для короткострокового прогнозування рівня води на гідропості Самбір. Було розглянуто кілька підходів: моделі часових рядів (Facebook Prophet, ARIMA), а також мультифакторні регресійні моделі (XGBoost, SVR, MLP тощо). Порівняльну таблицю точності моделей подано на рисунку 3.

	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

Рисунок 3 – Порівняльна таблиця точності моделей

Найкращі значення метрик досягнуто при використанні Prophet із сезонністю 120 днів і порядком Фур'є 12 (RMSE = 5.77, MAPE = 1.99%).

Фінальне тестування найкращої моделі Prophet показало високу відповідність між прогнозними і фактичними значеннями рівня води на тестовому наборі даних. Графік п'ятиденного прогнозу наведено на рисунку 4.

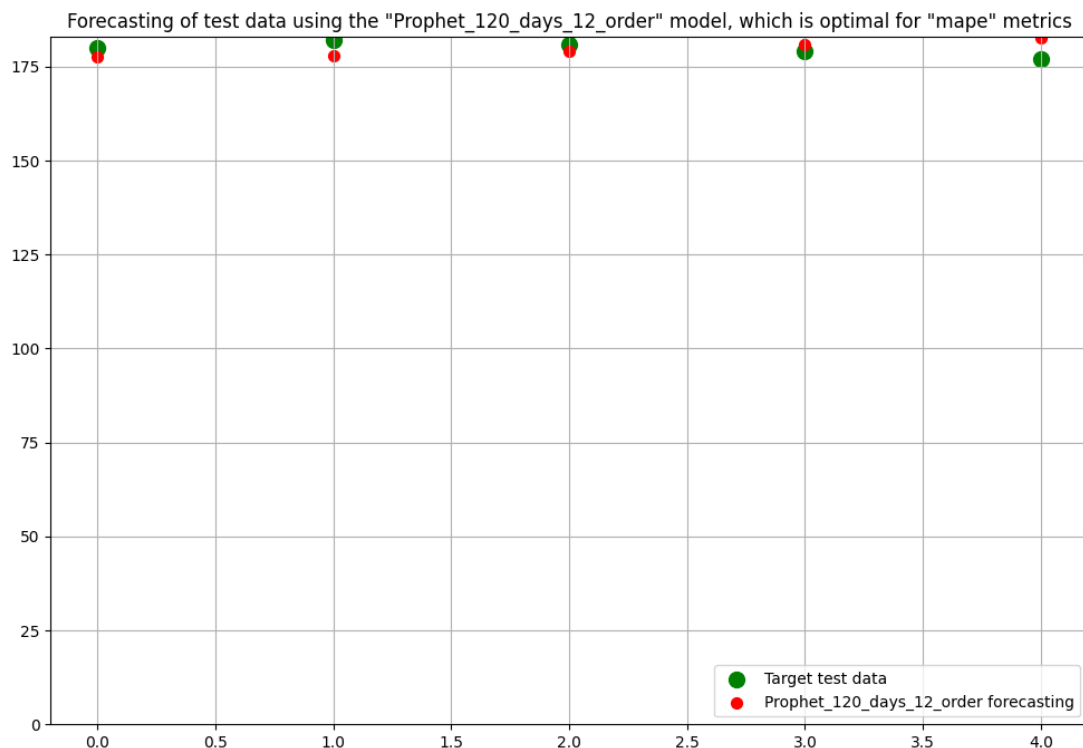


Рисунок 4 – Результати 5-денного прогнозування рівня води на тестовому наборі даних за допомогою моделі Prophet_120_days_12_order

Зелений маркер позначає спостереження, а червоний – прогноз. Таке моделювання дозволяє оперативно реагувати на потенційні гідрологічні ризики в регіоні.

Висновки

У результаті проведеного системного аналізу гідрологічних даних водогосподарських ділянок басейну річки Дністер було здійснено структуризацію вхідних показників, побудовано інструменти візуалізації дефіциту та резервів води, а також реалізовано моделі прогнозування рівня води на основі сучасних методів машинного навчання.

На основі узагальнених даних побудовано інтерактивні карти просторового розподілу водного дефіциту й резервів, що дозволяють оперативно ідентифікувати критичні зони та підтримувати прийняття управлінських рішень. Розроблено набір моделей для прогнозування рівня води, серед яких найкращі результати за метриками $RMSE = 5.77$ та $MAPE = 1.99\%$ показала модель Prophet із 120-денною сезонністю та порядком Фур'є 12.

Розроблена система демонструє високу точність прогнозування, стабільність у повторному навчанні, гнучкість до сезонних коливань та адаптивність до нових даних. Отримані результати можуть бути використані для підтримки рішень в управлінні водними ресурсами в басейновому масштабі та для попередження критичних ситуацій, пов'язаних із дефіцитом води.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Водогосподарський баланс для району басейну річки Дністер. URL: https://www.davr.gov.ua/fls18/balans_dniester.pdf.
2. Дані автоматичних гідрологічних постів. URL: <https://www.meteo.gov.ua/ua/Dani-avtomatichnikh-hidrolohichnikh-postiv>.
3. План управління річковим басейном Дністра на 2025-2030 роки : Затверджено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 01.11.2024 р. № 1078-р. URL: https://davr.gov.ua/fls18/PURBDniester7_ukr.pdf.
4. Про затвердження Порядку розроблення водогосподарських балансів : Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України від 17.02.2017 р. №232/30100. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0232-17#Text>.
5. Kaggle Dataset «Water Balance Dniester». URL: <https://www.kaggle.com/datasets/annhaiovych/dniester>

6. Kaggle Notebook «Dnister Balance EDA & Visualization». URL: <https://www.kaggle.com/code/annhaiovych/dnister-balance-eda-visualization>.

7. Kaggle Notebook «Water level – EDA & forecasting». URL: <https://www.kaggle.com/code/annhaiovych/water-level-eda-forecasting>.

Гайович Анна Михайлівна – студентка групи СА-21б, факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: ann.gajovich@gmail.com.

Крижановський Євгеній Миколайович – к.т.н., доцент кафедри системного аналізу та інформаційних технологій, Вінницький національний технічний університет, e-mail: kruzhan@vntu.edu.ua.

Haiovych Anna M. – student of Faculty of Intellectual Information Technologies and Automation, SA-21b, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: ann.gajovich@gmail.com.

Kryzhanovskyi Yevhenii M. – Ph.D., Assistant Professor of the Department of Systems Analysis and Information Technologies, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: kruzhan@vntu.edu.ua.