**Ю.О. Чорноморець**[1]
*ORCID: 0000-0002-9785-9019*
*ulia@uhmi.org.ua*
**І.М. Перевозчиков**[2]
*i.perevozchykov@meteo.gov.ua*
**А.В. Орещенко**[1]
*ORCID: 0000-0002-8363-6885*
*andrey_o@uhmi.org.ua*
**Л.М. Мала**[2]
*mala.liudmyla@gmail.com*

[1] *Український гідрометеорологічний інститут Державної служби України з надзвичайних ситуацій та Національної академії наук України, Київ, Україна*

[2] *Український гідрометеорологічний центр Державної служби України з надзвичайних ситуацій*

УДК 556.048 DOI: https://doi.org/10.15407/Meteorology2024.05.039

# ВИЗНАЧЕННЯ НАТУРАЛІЗОВАНОГО СТОКУ ДНІПРА ЗА МЕТОДОМ ВІДНОВЛЕННЯ

*Стаття присвячена визначенню кількісних характеристик стоку р. Дніпро та приведенню їх до природних показників. Для великих зарегульованих річок розрізняють природний, антропогенний та натуралізований стік. На основі регулярних інструментальних спостережень виконана натуралізація середнього річного стоку Дніпра за методом відновлення та проведено його порівняння із реальним стоком на прикладі 2023 року. Зниження природного стоку Дніпра у 2023 році під впливом водосховищ становило від 4,8% для Київського до 14,8% для Дніпровського. У 203-річному ряду значень натуралізованого стоку Дніпра аномально виділяється сучасний період історичного мінімуму середнього річного стоку. Це є досить тривожною ознакою, оскільки, якщо ймовірність подібних до 2015-го маловодних років збережеться і надалі, то, за відсутності Каховського водосховища це матиме важкі наслідки для всього півдня України. Особливо критичною ця ситуація може стати коли спостерігатиметься утримання низької водності декілька років поспіль за зразком 2019–2020 років (98% забезпеченість натуралізованого ряду).*

**Ключові слова:** *річка Дніпро, природний, антропогенний, натуралізований стік.*

## ВСТУП

Річка Дніпро є головною водною артерією України та відіграє важливу роль у забезпеченні базових умов сталого розвитку нашої держави. Це відбувається через підтримання нею таких важливих природних та господарських функцій як збереження біорізноманіття, водопостачання і водовідведення, енергетика, сільське господарство, транспорт і багато інших. Тому питання визначення кількісних характеристик стоку Дніпра та приведення їх до природних показників є досить актуальним.

У процесі вивчення річкового стоку великих зарегульованих річок, залежно від ступеню антропогенного впливу, виділяють три його основні типи. Перший це природний стік (*natural flow*), який відповідно до визначення словника WMO (2012) відповідає стоку води у річці за природних умов. Другий — це стік змінений внаслідок антропогенної діяльності (*human influences*). І третій, це розрахунковий тип — натуралізований стік (*naturalized*), який розглядається як природний стік за певних умов розвитку річкового басейну. Він визначається або відсутністю впливу людини, або деяким певним низьким рівнем навантаження на водні об'єкти (Wurbs, 2006).

Процедура натуралізації відомостей про стік являє собою важливий етап у формуванні стратегії управління водними ресурсами. Так, наприклад, Водна рамкова директива зазвичай використовує природні параметри для визначення природного статусу річки Directive 2000/60/EC. У деяких країнах нормативні документи щодо дозволу забору та скиду у річки, а також щодо доброго екологічного стану річок базуються на натуралізованих гідрологічних показниках (Terrier et al., 2021).

**Метою статті** є визначення натуралізованого середнього річного стоку Дніпра за методом відновлення та порівняння його із реальним стоком на прикладі 2023 року.

**Попередні дослідження стоку Дніпра.** Вивчення водності Дніпра в Україні має глибоке історичне підґрунтя. Зазвичай воно відбувалося спільно з розвитком культури, освіти та релігійних практик, оскільки Дніпро завжди відігравав стратегічну роль для народів, які населяли територію нашої держави. У різні часи він виконував транспортну, господарську, культурну та багато інших функцій. Саме тому настільки важливим було розуміння процесів, що обумовлюють зміни його водності.

До нашого часу дійшли окремі літературні свідчення про режим Дніпра починаючи з другої половини X століття, з опису приїзду древлянських послів до княгині Ольги в Київ. Далі, у період до XVII століття, відомості про екстремальні водопілля та

посухи зустрічаються у літописах, хроніках, мемуарах та інших письмових джерелах.

Традиційно початок водомірних спостережень на Дніпрі відноситься до 1656 року, яким датована перша збережена письмова згадка — інструкція для регулювання судноплавства через Дніпровські пороги (Швець, 1972). Звісно, подібні спостереження не можуть бути об'єктивними, але вони все ж дають певні уявлення про коливання водності Дніпра того періоду. Наступний етап розпочався 1876 року і був пов'язаний з діяльністю Навігаційно-описової комісії, коли закладалася методична основа для інструментальних вимірювань рівнів води вже з приведенням їх до узгодженої єдиної системи висот.

Дослідження водності Дніпра в сучасний період можна вважати складним питанням через ряд чинників, серед яких в першу чергу варто виділити високий ступінь зарегулювання стоку (Яцик, 2003). Фактично побудова каскаду водосховищ розділила гідрологічний режим Дніпра на "до" та "після". Сам процес побудови — наповнення — встановлення ефективного механізму експлуатації дніпровських водосховищ тривав десятиліттями (Каскад днепровских водохранилищ, 1976), і весь цей час відбувалася певна еволюційна трансформація методичних підходів до оцінювання його стоку.

На етапі до побудови греблі Дніпровського водосховища значна увага дослідників того періоду приділялася гідрографічним особливостям Дніпра та його басейну (Максимович, 1901), особливо у тій частині, яка стосувалася потреб судноплавства — проведенню днопоглиблювальних, берегоукріплювальних та русловипрямних робіт.

Основоположником дослідження власне режиму водного стоку Дніпра та впливу на нього атмосферних опадів був Євген Оппоков (1913). Дещо пізніше, Анатолій Огієвський (1932) здійснив систематизацію відомостей про стік Дніпра до 1930 року та ввів поняття "басейнів-індикаторів" для прогнозування форми гідрографів біля Києва та обчислення швидкості добігання витрат водопілля за допомогою кривих об'єму стоку.

Окремо варто відмітити роботи Григорія Швеця (1960, 1972), який вивчав багаторічні коливання водності поєднуючи опрацювання архівних матеріалів з результатами натурних зйомок, зокрема нівелюванням міток високих вод. Саме завдяки його доробку ми маємо ряд середніх місячних, максимальних і мінімальних витрат води по Лоцманській Кам'янці з 1818 року.

Після початку наповнення водосховищ особливо активно почали розвиватися методики прогнозування гідрологічного режиму Дніпра (Прогнозы элементов водного режима Днепра, 1954), зокрема прогнозування річного і сезонного стоку — Владислав Мокляк, Григорій Швець, Аріадна Крижанівська; максимального стоку весняного водопілля та гідрографів його розподілу по довжині Дніпра — Йосип Железняк, Паладій Вишневський, Анатолій Шерешевський; мінімального стоку — Галина Чіппінг, Клара Лисенко; твердого стоку та замулення водосховищ — Нафанаїл Дрозд. Дослідженнями стоку Дніпра також займалася Валентина Огієвська (1955), у роботі якої ординати гідрографу біля Києва вже визначалися через суму ординат Прип'ять–Мозир, Сож–Гомель, Дніпро–Річиця та Десна–Чернігів. Йосип Железняк (1957) досліджував процеси добігання, хвилі водопілля та боковий приплив на ділянці від Києва до Верхньодніпровська. Визначенням величини припливу до Київського та Канівського водосховищ займалися також Василь Романенко, Людмила Пашова, Людмила Бишовець (1974). Методика, яку розробила Євгенія Кочелаба стосовно прогнозування місячного і декадного бокового припливу води до Київського водосховища у період весняного водопілля використовується спеціалістами Гідрометцентру і до сьогодні. Досить цікавими стосовно дослідження спорідненості і асинхронності стоку Дніпра і його приток були дві роботи Йосипа Железняка, Миколи Ворончука та Анатолія Шерешевського (1983), де ці процеси розглядалися через матричні карти умовної функції розподілу об'єму стоку.

Водні ресурси і водний баланс басейну Дніпра, відповідно до природних зон, обчислені в статті Луки Онуфрієнка (1955). Детальний аналіз гідрографічних особливостей Нижнього Дніпра після побудови Каховської ГЕС наводиться в роботі Мордка Айзенберга (1956). Окремим напрямком можна виділити публікації стосовно обчислення випаровування з водної поверхні Дніпровських водосховищ, це роботи Михайла Каганера (1960), Анатолія Шерешевського, Людмили Синицької (2006). Особливий інтерес по відношенню до даного дослідження, викликає стаття Анатолія Шерешевського та Валентини Войцехович (1990), в якій серед іншого наводяться самі розрахункові дані про природний стік в районі гирла Дніпра після побудови каскаду водосховищ.

У більш пізніх роботах з вивчення водності Дніпра, основна увага дослідників була переважно зосереджена на окремих її елементах. Так, питання максимального стоку періоду весняного водопілля та методик його прогнозування розглядалися в роботах Вікторії Бойко, Жаннетти Шакірзанової (2018) та їх колег. Мінімальний стік Дніпра досліджувався у роботах Миколи Ромася, Ірини Шевчук та Ігоря Ромася (2003).

Для такої великої річки як Дніпро насправді існує досить мало праць з реалізацією дійсно комплексного підходу до вивчення його стоку. Хронологічно до таких можна віднести "Днепр и его бассейн" Миколи Максимовича 1901 року; "Водність Дніпра" Григорія Швеця 1960 року, разом з пізнішою книжкою (Швець, 1972); "Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 6. Вып. 2." колективна праця під загальною редакцією Михайла Каганера 1971 року; "Гидрология и гидрохимия Днепра и его водохранилищ" колективна праця авторства Олександри Денисової, Володимира Тимченка та інших 1989 року, "Ріка Дніпро" Віктора Вишневського, 2011 року; до цього переліку певною мірою можна додати Проєкт Плану управління басейном річки Дніпро в Україні, частина 1 (2021), хоча він поки що і знаходиться на стадії затвердження.

## МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

**Вихідна інформація.** Схема розташування гідрологічних постів наведена на *рис. 1*. Для дослідження кількісних характеристик стоку Дніпра використані відомості про середні місячні і річні витрати води до побудови водосховищ (*рис. 2*) та натуралізований стік Дніпра у попередніх роботах (Шерешевський, Войцехович, 1990; Чорноморець, Павленко, Лук'янець, 2017) (*рис. 3*).

Спостереження за стоком води значною мірою порушувалися як в часі, так і в просторі. Головними причинами таких порушень були активні бойові дії часів другої світової війни та теперішньої військової агресії російської федерації, а також будівництво каскаду водосховищ, внаслідок чого частина діючих гідрологічних постів виявлялася у зоні підпору, а тому вони або закривалися або переносилися.

На сьогоднішній день доступними є результати спостережень на першому, за часом відкриття, водомірному посту Дніпро-Лоцманська Кам'янка за період 1877–1931 років. Після побудови греблі Дніпровської ГЕС пост опинився в зоні підпору і частково відновлював роботу після першого і другого підривів греблі ДніпроГЕСу протягом 1942, 1944–1946 років.

Спостереження на посту Дніпро–Київ характеризували природний стік за період 1881–1964 років, а вже від початку наповнення Київського водосховища пост виявився під безпосереднім впливом роботи Київської ГЕС, тому дані з нього недоцільно брати до розрахунків. На сьогодні працюючим є пост Дніпро–Неданчичі з періодом спостережень 1973–2023 роки.

Вимірювання рівнів і витрат води на річках Прип'ять і Десна мають такі періоди: Прип'ять–м. Прип'ять (БНС) 1974–1986 роки, Прип'ять — зона відчу-

**Рис. 1.** Басейн річки Дніпро та схема розташування гідрологічних постів

ження (Довляди, Усів, БНС, Чорнобиль, Страхолісся) 1986–2023 роки, Десна–Чернігів 1895–2023 роки, Десна–Літки 1973–2023 роки.

Спостереження у створах гребель ГЕС Дніпровського каскаду мають таку періодичність: Київська ГЕС 1966–2023, Канівська ГЕС 1973–2023 роки, Кременчуцька ГЕС 1961–2023 роки, Середньодніпровська ГЕС 1964–2023 роки, Дніпровська ГЕС 1952–2023 роки, Каховська ГЕС 1956–2022 роки, тобто до початку окупації в період повномасштабного вторгнення російської федерації та наступного руйнування греблі.

**Методика дослідження.** Відповідно до існуючих на сьогодні методичних вимог стосовно оцінювання стоку зарегульованих річок, для коректного аналізу вихідні послідовності мають проходити процедуру натуралізації або приведення стоку до природних умов (*pre-dam conditions*). Без цього отримані значення стоку певної забезпеченості не можна вважати релевантними. Це додає актуальності даному дослідженню.

Існують різні методики виконання натуралізації відомостей про стік зарегульованих річок. Найбільш детальна класифікація методів натуралізації наведена в роботі (Terrier, et al., 2021), де виділяються шість основних підходів:

- відновлення (*reconstitution*),
- водний баланс,
- маршрутизація (*routing*),
- розширення (*extension*),
- парний водозбір,
- регіоналізація.

Класичний підхід до кількісного визначення ступеня зміни стоку під впливом антропогенної діяльності полягає у використанні спостережуваного природного потоку за період до появи антропогенного впливу (*pre-dam period*). Тому у даній роботі ми використали відновлення існуючих рядів спостережень за даними попередніх вимірювань стоку (перший підхід) за умов незарегульованого Дніпра. Проте у майбутньому було б доцільно порівнювати отримані тут результати із середніми річними витратами води, визначеними іншими методами натуралізації, наприклад, через використання водного балансу (другий підхід). Підібрати парний водозбір (п'ятий підхід) у випадку Дніпра неможливо, оскільки це велика річка , що протікає у різних природних зонах. Це ж стосується і регіоналізації стоку (шостий підхід).

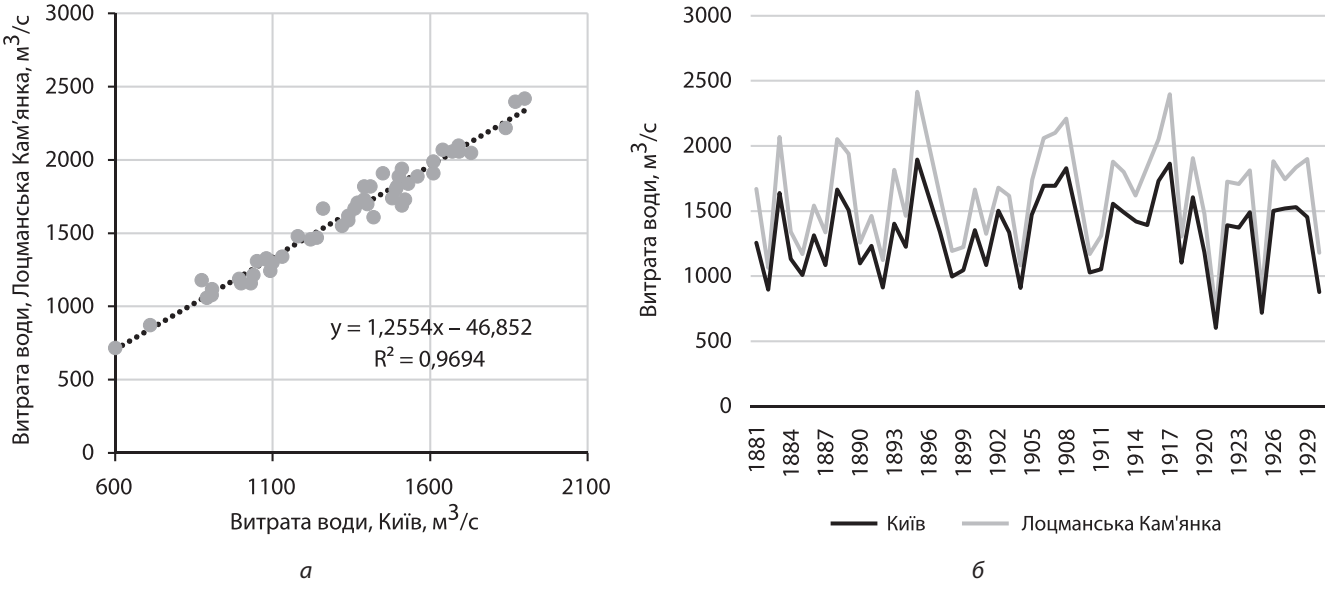
Для доведення достовірності зв'язків між гідрологічними величинами повинні забезпечуватися вимоги (1), відповідно до (СниП 2.01.14–83, 1983):

$$n' \geq 10; \quad |r| \geq 0{,}7; \quad \frac{|r|}{\sigma_r} \geq 2; \quad \frac{|k_1|}{\sigma_{k_1}} \geq 2, \qquad (1)$$

де $n'$ — кількість спільних років спостережень у основному створі та у пунктах-аналогах; $r$ — множинний або парний коефіцієнт кореляції; $k_1$ — коефіцієнт регресії; $\sigma_{k_1}$ — середня квадратична похибка коефіцієнта регресії.

Для реалізації поставленої мети в роботі будуть розглянуті наступні види середнього річного стоку Дніпра:

- природний стік, виміряний до побудови водосховищ (*рис. 2*);
- натуралізований стік Дніпра (*рис. 3*).




*а* *б*

**Рис. 2.** Середні річні витрати води Дніпра біля Києва (*а*) та Лоцманської Кам'янки (*б*) за 1881–1931 роки, відповідно до результатів інструментальних спостережень

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

**Природний стік Дніпра, виміряний до побудови водосховищ.** Для оцінювання дійсно природного стоку Дніпра без визначального впливу будь якого зарегулювання варто приймати за основу результати інструментальних спостережень, які обмежені 1931 роком (*рис. 2*), тобто періодом між початком будівництва Дніпровської ГЕС (1927 рік) та першим наповнення Дніпровського водосховища перед введенням в експлуатацію першого гідроагрегату (1932 рік).

Інструментальні спостереження за природним стоком Дніпра біля Києва доступні для періоду 1881–1964 років, тобто рік закінчення прийнятного періоду визначений початком наповнення Київського водосховища, тому саме цей відрізок вважається тут часом природного стоку. На сьогоднішній день стік по Києву визначається через суму витрат (скид води) у створі Київської ГЕС та Десна–Літки.

Середні річні витрати води незарегульованого Дніпра за 51 рік спільних інструментальних спостережень становили 1345 м$^3$/с по Києву та 1638 м$^3$/с по Лоцманській Кам'янці з максимумом у 1895 році та мінімумом у 1921 році. Таким чином сумарний боковий приплив за непорушених природних умов формування стоку на цій ділянці становив біля 117 м$^3$/с для маловодного року (98% забезпеченості емпіричного ряду інструментальних спостережень за Крицьким–Менкелем для Лоцманської Кам'янки 1877–1931), 292 м$^3$/с для середнього за водністю року (55% забезпеченість) та 520 м$^3$/с для багатоводного року (2% забезпеченість).

Відповідно до цих розрахунків можна лише ще раз підтвердити відому тезу про те, що понад дві третини стоку Дніпра формується вище Києва, а у випадку маловодних і середніх за водністю років це співвідношення досягає навіть чотири п'ятих.

**Натуралізований стік Дніпра.** Стік Дніпра у верхній частині формується на території російської федерації та білорусі і тому у період до початку війни між гідрометеорологічними службами відбувався обмін гідрологічною інформацією для складання прогнозів перебігу весняного водопілля, паводків та розроблення схеми оптимального наповнення водою каскаду водосховищ. З цією метою використовувалися результати спостережень на постах Прип'ять–Мозир, Сож–Гомель, Дніпро–Річиця. Оскільки на сьогоднішній день відсутній доступ до подібної інформації, у даній роботі стік Дніпра вище Києва визначався через суму витрат по постах Дніпро–Неданчичі та Прип'ять–БНС (зона відчуження) (*рис. 3а*), а стік Дніпра нижче Києва через суму витрат на постах Дніпро–Неданчичі, Прип'ять–БНС (зона відчуження) та Десна–Літки (*рис. 3б*). Середня річна витрата води для гідропоста Прип'ять–БНС (зона відчуження) доступна з 1986 року, але оскільки тут нам було дуже важливим мати відомості про стік Верхнього Дніпра саме через притоки української частини водозбору, ми відновили її для періоду 1973–1985 роки через залежність із витратами на посту Прип'ять–Мозир, спільний період спостережень 28 років (1986–2013, $r = 0{,}985$).

Для визначення натуралізованої середньої річної витрати води Дніпра та приведення її до багато-

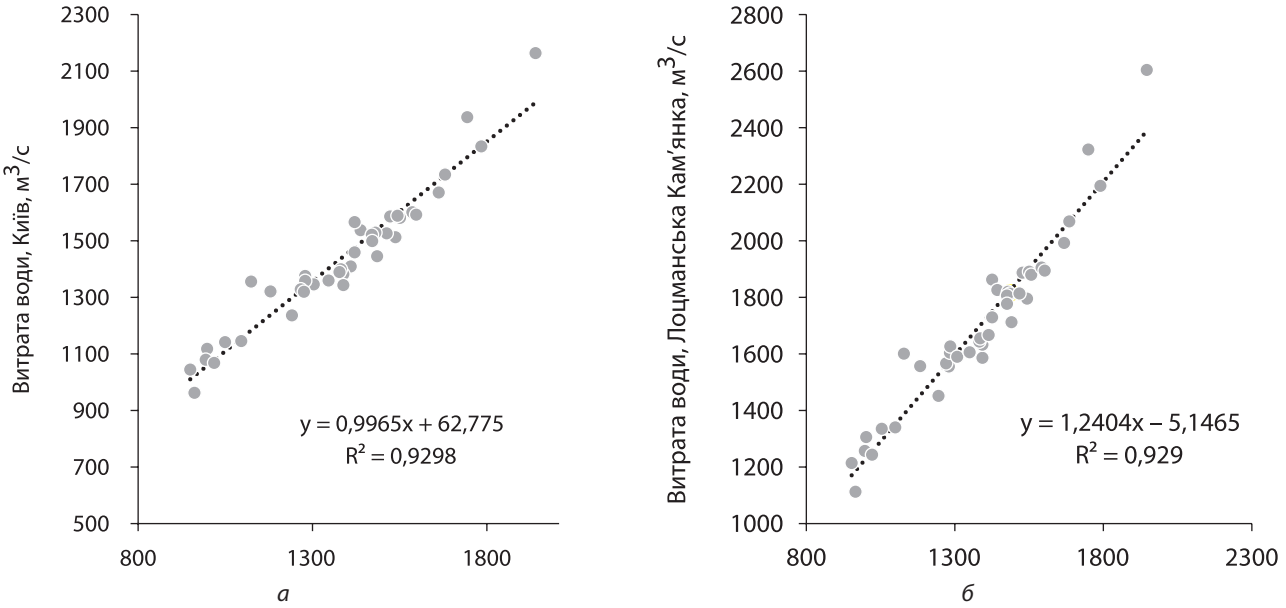



**Рис. 3.** Залежність натуралізованої середньої річної витрати води Дніпра біля Києва (*а*) та Лоцманської Кам'янки (*б*) за даними (Чорноморець, Павленко, Лук'янець, 2017) від суми витрат Дніпро–Неданчичі, Прип'ять–БНС (зона відчуження) та Десна–Літки за 1973–2013 роки

річного періоду можна відновлювати або стік через основне русло, або по кожній притоці окремо.

У попередній роботі ми відновлювали умовно природний (натуралізований) середній річний стік Дніпра через сумарну витрату води за даними гідрологічних постів Дніпро–Річиця, Прип'ять–Мозир, Сож–Гомель та Десна–Чернігів (Чорноморець, Павленко, Лук'янець, 2017) за рівняннями регресії через використання відповідних модульних коефіцієнтів за період від початку спостережень до 2013 року.

Як уже зазначалося вище, доступу до результатів спостережень на постах з білорусі ми не маємо, тому у даній роботі використані відновлені дані про природний стік Дніпра біля Києва та Лоцманської Кам'янки до 2013 року з попередньої роботи, які через залежності *рис. 3* та *табл. 1* пов'язані із діючими на сьогодні постами в межах України: Дніпро–Неданчичі, Прип'ять–БНС та Десна–Літки.

Спостереження на посту Десна–Чернігів, які приймалися у традиційних схемах замінили на спостереження Десна–Літки, оскільки зрозуміло що він має більшу площу водозбору (*табл. 1*).

Іншим підходом до відновлення рядів середніх річних витрат води основного русла Дніпра є обчислення стоку для кожної окремої притоки у зворотному порядку, тобто від 1973 року до початку спостережень за результатами вимірювань на найближчому гідрологічному посту. Тоді середній річний стік для Дніпро–Неданчичі визначається через сумарну витрату Дніпро–Річиця та Сож–Гомель; Прип'ять–БНС (зона відчуження) визначається через Прип'ять–Мозир; а Десна–Літки, відповідно, через Десна–Чернігів. Отримані таким чином суми приведених середніх річних витрат разом із сучасним рядом спостережень утворюють безперервний ряд коливань середнього річного стоку Верхнього Дніпра. Подібний підхід менш точний, оскільки тут не достатньо тривалим є період спільних спостережень, тому він використовуватиметься як допоміжний розрахунок, а його результати наводитимуться в дужках біля витрати 2023 року (*табл. 1*), щоб показати порівнюваність отриманих величин за різними підходами.

Використовуючи залежності на *рис. 3* були визначені натуралізовані середні річні витрати води у створах Київ та Лоцманська Кам'янка за 2023 рік (*табл. 1*) та продовжений ряд по Лоцманській Кам'янці, який тепер становить 203 роки з 1818 по 2020 роки.

Питання приведення наявного стоку Дніпра у гирлі до природних (натуралізованих) показників, які гіпотетично могли б мати місце за відсутності каскаду водосховищ розглядалося в роботі Ана-

Таблиця 1. **Визначення натуралізованого середнього річного стоку води річки Дніпро за 2023 рік та оцінка точності отриманих значень**

| Параметри | Основні пункти ($Q$) визначення натуралізованого середнього річного стоку води | | |
|---|---|---|---|
| | **Дніпро — Київ (Чорноморець, Павленко, Лук'янець, 2017)** | **Дніпро-Лоцманська Кам'янка (Чорноморець, Павленко, Лук'янець, 2017)** | **Дніпро — гирло (Шерешевський, Войцехович, 1990)** |
| | **Пункти-аналоги ($Q_1$) для визначення величини сумарного стоку Верхнього Дніпра Дніпро–Неданчичі, Прип'ять–зона ЧАЕС, Десна–Літки** | | |
| Спільний період спостережень | 1973–2013 | 1973–2013 | 1973–1985 |
| Рівняння регресії | $Q = 0{,}9965Q_1 + 62{,}8$ | $Q = 1{,}2404Q_1 - 5{,}1$ | $Q = 1{,}2672Q_1 + 113{,}5$ |
| n′ | 41 | 41 | 13 |
| $\|r\|$ | 0,964 | 0,963 | 0,95 |
| $\sigma_Q$ | 237 | 295 | 299 |
| $\sigma_{Q_1}$ | 229 | 229 | 224 |
| $k_1$ | 0,9965 | 1,2404 | 1,2672 |
| $\sigma_r$ | 0,0111 | 0,0111 | 0,267 |
| $\sigma_{k_1}$ | 0,0116 | 0,0144 | 0,122 |
| $\|r\| / \sigma_r$ | 87 | 87 | 36 |
| $\|k_1\| / \sigma_{k_1}$ | 86 | 86 | 10,4 |
| Виконання умов (2) | Виконуються | Виконуються | Виконуються |
| Витрата води 2023, м$^3$/с | 1722(1725) | 2060(2049) | 2223(2112) |
| Похибка ±, м$^3$/с | 36 (Q1)/37(Q) | 36(Q1)/46(Q) | 62(Q1)/83(Q) |

толія Шерешевського та Валентини Войцехович (1990). Розрахункові дані про природний стік в районі гирла Дніпра після побудови каскаду водосховищ (табл.1) використані саме звідти, оскільки на сьогоднішній день для порівняння відсутні доступні опубліковані результати спостережень за водністю Дніпра у гирлі.

Запропоновані рівняння забезпечують достовірність і точність визначення натуралізованого середнього річного стоку води річки Дніпро з 95% ймовірністю.

Відповідно до залежностей *табл. 1* отримуємо середню багаторічну натуралізовану витрату Дніпра по Лоцманській Кам'янці (1818–2020 рр.), що становить 1648 м$^3$/с (±31 м$^3$/с) з максимумом 3040 м$^3$/с у 1877 році та мінімумом 687 м$^3$/с 2015 року.

Ситуація сучасного періоду, коли спостерігається історичний мінімум середнього річного стоку Дніпра є досить тривожною. Якщо ймовірність випадків подібних до 2015-го та інших маловодних років збережеться і надалі, то за відсутності Каховського водосховища це матиме важкі наслідки для всього півдня України. Особливо критичною ця ситуація стане коли спостерігатиметься утримання низької водності декілька років поспіль за зразком 2019–2020 років (98% забезпеченість натуралізованого ряду).

Забезпеченість натуралізованої середньої річної витрати води Дніпра 2023 року для Лоцманської Кам'янки становила 17% відповідно до емпіричного ряду за Крицьким–Менкелем (ряд інструментальних спостережень 1877–1931 рр.) та 15% відповідно до загального ряду натуралізованих даних періоду 1818–2020 років і становила для цього поста 2060 м$^3$/с.

За даними Українського гідрометеорологічного центру Державної служби України з надзвичайних ситуацій 2023 року скиди у створі Київської ГЕС становили 1344 м$^3$/с. Разом із витратами на посту Десна-Літки (295 м$^3$/с) буде 1639 м$^3$/с. Отже, у порівнянні з натуралізованим стоком Дніпра біля Києва (1722 м$^3$/с) стік знизився на 4,8% за рахунок впливу господарської діяльності в басейні.

Стік Дніпра у створі Дніпровської ГЕС за 2023 рік становив 1760 м$^3$/с, натуралізований стік по Лоцманській Кам'янці 2060 м$^3$/с, відповідно стік знижується на 14,8% так само за рахунок регулювання, випаровування та фільтраційних втрат.

Визначення стоку Дніпра у гирлі на сьогоднішній день неможливе через триваючі активні бойові дії, тому порівняти результати розрахунків для цієї ділянки ми поки що не можемо.

## ВИСНОВКИ

Відповідно до існуючих на сьогодні методичних вимог стосовно оцінювання стоку зарегульованих річок, вихідні послідовності мають проходити процедуру натуралізації або приведення стоку до природних умов (*pre-dam conditions*). Без цього отримані значення стоку певної забезпеченості не можна вважати релевантними. За результатами натуралізації наявних відомостей про стік Дніпра ми отримали безперервний ряд натуралізованих витрат води за 203 роки по Лоцманській Кам'янці, відповідно до якого визначалося емпіричне значення забезпеченості 2023 року (15%). Зниження природного стоку Дніпра у 2023 році під впливом водосховищ становило від 4,8% для Київського до 14,8% для Дніпровського.

Відповідно до проведених нами розрахунків у 203-річному ряду значень натуралізованого стоку Дніпра аномально виділяється сучасний період історичного мінімуму середнього річного стоку. Це є досить тривожною ознакою, оскільки, якщо ймовірність подібних до 2015-го маловодних років збережеться і надалі, то, за відсутності Каховського водосховища це матиме важкі наслідки для всього півдня України. Особливо критичною ця ситуація може стати коли спостерігатиметься утримання низької водності декілька років поспіль за зразком 2019–2020 років (98% забезпеченість натуралізованого ряду).

## ЛІТЕРАТУРА


Айзенберг М.М. (1956). К гидрографии Нижнего Днепра. *Тр. УкрНИГМИ*, 6, 97–109.

Бышовец Л.Б. (1974). Перемещение весеннего стока на Нижнем Днепре при оптимальном режиме эксплуатации каскада водохранилищ. *Тр. УкрНИГМИ*, 129, 63–67.

Вишневський В.І. (2011). Ріка Дніпро. Київ: Інтерпрес ЛТД.

Денисова А.И., Тимченко В.М., Нахшина Е.П. и др. (1989). Гидрология и гидрохимия Днепра и его водохранилищ. Киев: Наукова думка.

Железняк И.А. (1957). Приток в р. Днепр на участке Киев–Верхнеднепровск. *Тр. УкрНИГМИ*, 9, 88–101.

Железняк И.А., Ворончук М.М., Шерешевский А.И. (1983). Анализ и учет сопряженности весеннего стока рек бассейна Верхнего Днепра. *Тр. УкрНИГМИ*, 194, 80–90.

Каганер М.С. (1960). Испарение с водной поверхности Днепровских водохранилищ. *Тр. УкрНИГМИ*, 24, 3–14.

Каскад днепровских водохранилищ (1976). Под ред. М.С. Каганера. Ленинград: Гидрометеоиздат.

Максимович, Н.И. (1901). Днепр и его бассейн. Киев: Типогр. С.В. Кульженко.

Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 27.05.2022 № 210. (2022). Правила експлуатації водосховищ Дніпровського каскаду. Отримано з https://zakononline.com.ua/documents/show/508275_698017#n14

Огиевский, А.В.(1932). Режим стока Верхнего и Среднего Днепра (за период с начала наблюдений до 1929–30 г.). ВСНХ

СССР. Гос. днепровское строительство "Днепрострой" в Упрводхоз. Науч.-исслед. ин-т водного хоз-ва Украины. Харьков, Киев: Транспорт і зв'язок.

Огиєвская, В.А. (1955). Пример построения гидрографа р. Днепр у Киева по данным о стоке частных бассейнов. *Тр. УкрНИГМИ*, 4, 101–108.

Онуфриенко, Л.Г. (1955). Водные ресурсы и баланс вод Украины и Молдавии. *Тр. УкрНИГМИ*, 76, 118–132.

Оппоков, Е.В. (1913). Режим речного стока в бассейне верхнего Днепра выше г. Киева и его составных частях в период 1876–1908 гг., а частью и в более отдаленное время, в связи с колебаниями атмосферных осадков и температуры в бассейне и с местными условиями стока. Ч. 2. СПб. : Изд. Отд. земел. улучшений.

Пособие по определению основных гидрологических характеристик. (1984). Ленинград: Гидрометеоиздат.

Прогнозы элементов водного режима Днепра. (1954). Под ред. Г.И. Швеца. Киев: Издательство академии наук Украинской ССР.

Проєкт Плану управління басейном річки Дніпро в Україні, частина 1. (2021). Отримано з https://www.euwipluseast.eu/images/2021/03/PDF/EUWI_UA_Dnipro_RBMP_1_20210225 _UKR.pdf

Ресурсы поверхностных вод СССР. (1971). Т. 6. Украина и Молдавия. Вып. 2. Среднее и нижнее Поднепровье. Под ред. М.С. Каганера. Ленинград: Гидрометеоиздат.

Ромась, М.І., Шевчук, І.О., Ромась, І.М. (2003). Дослідження формування мінімальних середньомісячних витрат річок басейну Дніпра в літньо-осінню межень. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, 5, 85–92.

СниП 2.01.14–83. (1983). Определение расчетных гидрологических характеристик. Москва: Гос. комитет СССР по делам строительства.

Чорноморець, Ю.О., Павленко, П.О., Лук'янець, О.І. (2017). Відновлення середнього річного стоку води річки Дніпро. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, 4 (47), 36–47.

Шакірзанова, Ж.Р., Бойко, В.М., Гопцій, М.В., Тодорова, О.І., Докус, А.О., Сербова, З.Ф., Швець, Н.М. (2018). Метод прогностичної оцінки характеристик максимального стоку річок басейну Дніпра у весняний період року. *Український гідрометеорологічний журнал*, (22), 80–99. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Uggj_2018_22_10

Швец, Г.И. (1972) Выдающиеся гидрологические явления на юго-западе СССР. Ленинград: Гидрометеоиздат.

Швець, Г.І. Водність Дніпра (1960). Київ: Видавництво АН УРСР.

Шерешевский, А.И., Войцехович, В.А. (1990). Оценка естественного стока р. Днепра. *Тр. УкрНИГМИ*, 235, 43–53.

Шерешевський, А.І., Синицька, Л.К. (2006). Сучасна оцінка розрахункового випаровування з водної поверхні дніпровських водосховищ. *Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту*, 255, 213–228.

Шерешевький А.И. (1972). Расчет естественных меженных расходов Нижнего Днепра в условиях зарегулирования стока каскадом водохранилищ. *Тр. УкрНИГМИ*, 143, 95–108.

Яцик А.В., Томільцева А. І. та ін. (2003). Правила експлуатації водосховищ Дніпровського каскаду. Київ: Генеза.

Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for Community action in the field of water policy. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:02000L0060-20140101&from=EN

Terrier, M., Perrin, C., de Lavenne, A., Andréassian, V., Lerat, J., & Vaze, J. (2021). Streamflow naturalization methods: a review. *Hydrological Sciences Journal*, 66 (1), 12–36. https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1839080

WMO, (2012). International glossary of hydrology. Vol. 385. World Meteorological Organization.

Wurbs, R.A. (2006). Methods for developing naturalized monthly flows at gaged and ungaged sites. *Journal of Hydrologic Engineering*, 11 (1), 55–64. doi:10.1061/(ASCE)1084-0699(2006)11:1(55)

## REFERENCES

Aizenberg, M.M. (1956). On the hydrography of the Lower Dnieper. *Tr. UkrNIGMI, 6*, 99–111. [in Russian]

Byshovets, L.B. (1974). Movement of spring runoff on the Lower Dnieper under optimal operation mode of the reservoir cascade. *Tr. UkrNIGMI, 129*, 63–67. [in Russian]

Chornomorets Yu.O., Pavlenko P.A, Lukianets O.I. (2017). Restoration of the average annual runoff of the Dnipro River. *Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia. 4 (47)*, 36–47. [in Ukrainian]

Denysova, A.I., Tymchenko, V.M., Nakhshyna, E.P., et al. (1989). Hydrology and hydrochemistry of the Dnipro River and its reservoirs. Kyiv: Naukova dumka. [in Russian]

Determination of Calculated Hydrological Characteristics according to SNiP 2.01.14-83. (1983). Moscow: State Committee of the USSR for Construction Affairs. [in Russian]

Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for Community action in the field of water policy. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:02000L0060-20140101&from=EN

EUWI+ East. (2021). Project of the Dnipro River Basin Management Plan in Ukraine, Part 1. Retrieved from https://www.euwipluseast.eu/images/2021/03/PDF/EUWI_UA_Dnipro_RBMP _1_20210225_UKR.pdf [in Ukrainian]

Forecasts of elements of the water regime of the Dnipro River. (1954). In G.I. Shvets (Ed.), Kyiv: Publishing House of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR. [in Russian]

Guidebook for Determining Key Hydrological Characteristics. (1984). Leningrad: Hydrometeoizdat. [in Russian]

Kaganer, M.S. (1960). Evaporation from the water surface of the Dnieper reservoirs. *Tr. UkrNIGMI, 24*, 3–14. [in Russian]

Kaganer, M.S. (Ed.). (1976). Cascade of Dnieper reservoirs. Leningrad: Hydrometeoizdat. [in Russian]

Maksimovich, N.I. (1901). Dnipro and its basin. K.: Typography S.V. Kulzhenko. [in Russian]

Ogievska, V.A. (1955). Example of constructing the hydrograph of the Dnipro River in Kyiv based on data on runoff from private basins. *Tr. UkrNIGMI, 4*, 101–108. [in Russian]

Ogievskiy, A.V. (1932). Regime of flow of the Upper and Middle Dnieper (for the period from the beginning of observations to 1929–30). VSNKh USSR. State Dnieper Construction "Dnieprostroi" in Uprvodkhoz. Scientific Research Institute of Water Management of Ukraine. Kharkov: Kiev: Transport and Communications. [in Russian]

Onufrienko, L.G. (1955). Water resources and water balance of Ukraine and Moldavia. *Tr. UkrNIGMI, 76*, 116–130. [in Russian]

Oppokov, E.V. (1913). Regime of river runoff in the Upper Dnieper basin above Kyiv and its component parts during the period 1876–1908, as well as in more distant times, in connection with fluctuations in atmospheric precipitation and temperature in the basin and with local runoff conditions. Part 2. St. Petersburg: Publishing Department of Land Improvements. [in Russian]

Order of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine dated May 27, 2022, No. 210. (2022). Rules for the operation of the Dnipro Cascade reservoirs. Retrieved from https://zakononline.com.ua/documents/show/508275_698017#n14

Resources of Surface Waters of the USSR. Vol. 6. Ukraine and Moldavia. Issue 2. Middle and Lower Dnieper Region. (Ed. M.S. Kaganer). Leningrad: Hydrometeoizdat. (1971). [in Russian]

Romas, M.I., Shevchuk, I.O., & Romas, I.M. (2003). Study of the formation of minimum average monthly runoff of rivers in the Dnieper basin during the summer-autumn low-water period. *Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology, 5*, 85–92.

Shakirzanova, Zh. R., Boiko, V. M., Hoptsii, M.V., Todorova, O.I., Dokus, A.O., Serbova, Z. F., & Shvets, N.M. (2018). Metod prognostychnoi otsinky kharakterystyk maksymalnoho stoku richok baseinu Dnipra u vesnianyj period roku [Method for predicting the characteristics of the maximum runoff of rivers in the Dnipro basin during the spring period]. *Ukrainskyi Hidrometeorolohichnyi Zhurnal, (22)*, 80–99. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Uggj_2018_22_10

Shereshevskyi, A.I., & Synytska, L.K. (2006). Contemporary assessment of calculated evaporation from the water surface of the Dnipro reservoirs. *Scientific Papers of the Ukrainian Research Hydrometeorological Institute, 255*, 213–228. [in Ukrainian]

Shereshevskyi, A.I. (1972). Calculation of natural average discharges of the Lower Dnieper under conditions of regulated flow by a cascade of reservoirs. *Tr. UkrNIGMI, 143*, 95–108. [in Russian]

Shereshevskyi, A.I., & Voitsekhovych, V.A. (1990). Estimation of the natural flow of the Dnipro River. *Tr. UkrNIGMI, 235*, 43–57. [in Russian]

Shvets, H.I. (1960). The flow of the Dnipro River. K.: Publishing House of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR. [in Ukrainian]

Shvets, H.I. (1972). Outstanding hydrological phenomena in the southwest of the USSR. L.: Hydrometeoizdat. [in Russian]

Terrier, M., Perrin, C., de Lavenne, A., Andréassian, V., Lerat, J., & Vaze, J. (2021). Streamflow naturalization methods: a review. *Hydrological Sciences Journal, 66 (1)*, 12–36. https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1839080

Vyshnevskyi, V.I. (2011). Dnipro River. Kyiv: Interpress LTD. [in Ukrainian]

WMO (2012). International glossary of hydrology. Vol. 385. World Meteorological Organization.

Wurbs, R.A. (2006). Methods for developing naturalized monthly flows at gaged and ungaged sites. *Journal of Hydrologic Engineering, 11 (1)*, 55–64. doi:10.1061/(ASCE)1084-0699(2006)11:1(55)

Yatsyk, A.V., Tomiltseva, A.I. et al. (2003). Rules of operation for the Dnipro cascade reservoirs. Kyiv. [in Ukrainian]

Zheleznyak, I.A. (1957). The tributary to the Dnipro River in the section Kiev–Upper Dnieper. *Tr. UkrNIGMI, 9*, 88–101. [in Russian]

Zheleznyak, I. A., Voronchuk, M. M., & Shereshevsky, A. I. (1983). Analysis and accounting of the spring runoff of rivers in the Upper Dnieper basin. *Tr. UkrNIGMI, 194*, 80–88. [in Russian]

**Yuliia Chornomorets**[1]
*ORCID: 0000-0002-9785-9019*
*ulia@uhmi.org.ua*

**Illia Perevozchykov**[2]
*i.perevozchykov@meteo.gov.ua*

**Andrii Oreshchenko**[1]
*ORCID: 0000-0002-8363-6885*
*andrey_o@uhmi.org.ua*

**Liudmyla Mala**[2]
*mala.liudmyla@gmail.com*

[1] *Ukrainian Hydrometeorological Institute of the State Emergency Service of Ukraine and the National Academy of Sciences of Ukraine*

[2] *Ukrainian Hydrometeorological Center of the State Emergency Service of Ukraine*

## DEFINITION OF THE NATURALIZED FLOW OF THE DNIPRO USING THE RESTORATION METHOD

*The issue of determining the quantitative characteristics of the Dnipro River's streamflow and bringing them to natural indicators is quite relevant today. However, the history of studying this issue is quite long. A short review at the beginning of the article is devoted to this. For large regulated rivers, natural, anthropogenic, and naturalized flow are distinguished. In the study, based on the available data of regular instrumental observations, the naturalization of the Dnipro River's average annual flow was conducted using the restoration method. Additionally, a comparison with the actual flow was provided using the example of 2023. The average long-term naturalized flow of the Dnieper along the Locsmanska Kamianka (1818–2020) was obtained, which is 1648 $m^3/s$ (±31 $m^3/s$) with a maximum of 3040 $m^3/s$ in 1877 and a minimum of 687 $m^3/s$ in 2015. The reduction in the natural runoff of the Dnipro River in 2023 due to the influence of reservoirs ranged from 4.8% for the Kyiv Reservoir to 14.8% for the Dnipro Reservoir. Analyzing the series of naturalized runoff of the Dnipro River over 203 years, it is worth noting that in the modern period, a historical minimum of average annual flow was observed. This is quite a concerning sign, as if the likelihood of low-water years similar to 2015 persists, and with the absence of the Kakhovka Reservoir, it will have severe consequences for the entire south of Ukraine. This situation could become especially critical if low water levels persist for several consecutive years, similar to 2019–2020 (with 98% reliability in the naturalized series). In the future, it is advisable to compare the given results with the average annual water consumption determined by other methods of naturalization, for example, through the use of the water balance.*

**Keywords:** *Dnipro River, natural, human influences, naturalized flow.*