

Meteorological Drought on Streamflows in the Lobo River Catchment at Nibéhibé, Côte d'Ivoire. J. Water Resour. Prot. 12, 495–511. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2020.126030>

6. Koffi, B., Kouassi, K.L., Sanchez, M., Kouadio, Z.A., Kouassi, K.H., Yao, A.B., 2020b. Estimation de la sédimentation dans la retenue d'eau de la rivière Lobo à l'aide de la théorie des bassins de décantation, in: XVIèmes Journées, Le Havre. Presented at the Journées Nationales Génie Côtier - Génie Civil, Editions Paralia, pp. 249–258. <https://doi.org/10.5150/jngcgc.2020.028>

7. Kouassi, K.L., Kouame, K.I., Konan, K.S., Sanchez Angulo, M., Deme, M., Meledje, N.H.E., 2013. Two-Dimensional Numerical Simulation of the Hydro-Sedimentary Phenomena in Lake Taabo, Côte d'Ivoire. Water Resour. Manag. 27, 4379–4394. <https://doi.org/10.1007/s11269-013-0417-x>

8. Lowrance, 2019. ELITE Ti, Manuel de l'utilisateur, Lowrance Electronics, Inc. ed. Lowrance Electronics, Inc.

9. Luís, A. dos A., Cabral, P., 2021. Small dams/reservoirs site location analysis in a semi-arid region of Mozambique. Int. Soil Water Conserv. Res. 9, 381–393. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.02.002>

10. Tang, X., Tong, S., Huang, G., Xu, G., Li, X., Lei, K., Yao, S., 2021. Characteristics of sedimentation and channel adjustment linked to the Three Gorges Reservoir. Int. J. Sediment Res. 36, 177–189. <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2020.10.003>

11. Teal, M., Bountry, J., Pridal, D., 2015. Modeling Sediment Movement in Reservoirs, U.S. Society on Dams. ed. United States of AmericaUSA.

12. Yao, A.B., Goula, T.A., Kouadio, Z.A., Kouakou, K.E., Kane, A., S Sambo, 2012. Analyse de la variabilité climatique et quantification des Ressources en eau en zone tropicale humide : cas du bassin Versant de la lobo au centre-ouest de la Côte d'Ivoire. Rev. Ivoirienne Sci. Technol. 19, 136–157. <http://www.revist.ci>

Гідродинамічне функціонування водосховища річки Лобо в західно-центральному Кот-д'Івуарі.

Коффі Б., Алексіс Б. Л., Ален К. С., Олів'є К. К. Ж., Куасі К. Л.

Створене для покращення водопостачання населення міста Далоа, водосховище річки Лобо більше не функціонує належним чином через людську діяльність поблизу цього резервуара. Це дослідження, яке засноване на 2D гідродинамічній моделі, виконане за допомогою програмного забезпечення Mike21 HD, дозволило реконструювати потоки у водосховищі річки Лобо. Результати моделювання свідчать про те, що гідродинамічна модель може відтворити зміну рівнів води вільної поверхні водойми. Крім того, результати дуже чутливі до граничних умов моделі, а також до початкових умов. Результати впливу відкачування води на динаміку рівнів у водосховищі р. Лобо показали, що вони суттєво не змінюються через відкачування (менше 1,3 мм). Тому відкачування слабо впливає на гідродинаміку річки Лобо, оскільки перекачувані потоки набагато менші, ніж приплив до водосховища.

Ключові слова : гідродинаміка ; моделювання ; водосховище ; річка Лобо.

Надійшла до редколегії 17.11.2022

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2022.4.6>

УДК 556.535.3:627.43(282.247.314)

Гуляєва О.О.¹, Усов О.Є.²

¹ПрАТ «Укргідроенерго»

²Інститут гідробіології НАН України

ОЦІНКА ЗМІНЕНОГО ГІДРОЛОГІЧНОГО РЕЖИМУ ДНІСТРА ЯК ОСНОВА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕКОЛОГІЧНОГО СТОКУ

У роботі розглянуті практичні аспекти впровадження концепції екологічного стоку в Україні згідно з Водною Рамковою Директивою. На прикладі Дністра застосовано гідрологічний метод, який слугує першим кроком встановлення параметрів екологічних витрат води. Проаналізована трансформація водного режиму внаслідок зарегулювання стоку за допомогою індикаторів гідрологічних змін. Апробація такого підходу підтвердила можливість його застосування на річках України за умов наявності тривалих рядів гідрологічних спостережень. Отримані результати можуть слугувати основою для розробки програми гідроекологічних досліджень для встановлення екологічно обґрунтованого режиму експлуатації водосховищ.

Ключові слова: екологічний стік, індикатори гідрологічних змін, витрата води, гідрологічні характеристики, Дністер.

Актуальність дослідження. На сьогодні у міжнародній практиці екологічний стік використовується для досягнення доброго стану водних об'єктів та впроваджується для вирішення практичних задач щодо встановлення мінімальних можливих та оптимальних

ISSN:2306-5680 Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2022. № 4 (66)

витрат води нижче гребель та водозаборів. У Брисбенській Декларації 2018 року [1] міститься терміновий заклик до дій щодо захисту та відновлення екологічного стоку та водних екосистем з точки зору їх біорізноманіття, внутрішньої цінності та екосистемних послуг як центрального елементу комплексного управління водними ресурсами та як основи управління водними ресурсами і сталого розвитку.

Важливість запровадження екологічного стоку в управління водними річковими басейнами підкреслюється введенням окремого керівного документу № 31 «Екологічний стік» у Водну Рамкову Директиву ЄС №2000/60/ЄС (ВРД) [2]. Це, в свою чергу, зобов'язує Україну розглядати сучасний стан національного надбання з проблематики та перспектив розвитку концепції екологічного стоку, а також адаптувати власне бачення до європейських стандартів. Зокрема, екологічний стік має бути визначений в національному законодавстві з узгодженням до загального розуміння європейських директив та обов'язково включатися у плани управління річковими басейнами, правила експлуатації водосховищ гідроелектростанцій, а також в процес отримання дозвільної та передпроектної документації. Реалізація концепції екологічного стоку має відбуватися, насамперед, шляхом регламентації та оптимізації роботи гідротехнічних споруд, режимів роботи ГЕС, станцій водозабору, тощо.

Аналіз виконаних досліджень. Для оцінки екологічного стоку міжнародною науковою спільнотою розроблено досить багато підходів та методів [2–7]. На практиці така різноманітність певною мірою може слугувати перешкодою, оскільки водні менеджери постають перед складним питанням вибору найбільш оптимального методу, який найкраще відповідатиме наявним умовам та існуючій інформації. У зв'язку з цим був запропонований покроковий трьохрівневий ієрархічний підхід, який дозволяє оцінювати екологічний стік при різному рівні доступності ресурсів та досліджень [2, 8]. До першого початкового рівня, через простоту застосування та низьку вартість, відносять так звані «настільні» методи (“hydrologic desktop methods”), що базуються на гідрологічних підходах. В більшості доступних гідрологічних підходах аналізуються п'ять основних компонентів гідрологічного режиму (величина водності, сезонність, тривалість, періодичність та мінливість (зміна гідрологічних характеристик у часі)), що пов'язані з розумінням екологічної реакції на гідрологічні зміни, та враховують внутрішньорічні та багаторічні коливання стоку [9–13]. Ці методи для визначення параметрів екологічного стоку, як правило, автономно не використовують, вони слугують основою для подальшого застосування комплексних методологій.

Використовуючи рекомендації керівного документу [2] в цій роботі ми розглянули можливість застосування методу індикаторів гідрологічних змін (ІНА) на річці Дністер. Він був запропонований Richter et al. [9] для оцінки трансформації елементів гідрологічного режиму річок та озер, що пов'язані з антропогенним навантаженням. Більшість європейських комплексних методів оцінки екологічного стоку ґрунтуються саме на ІНА [10]. В Україні ІНА широко не використовується, однак є приклади його часткового застосування для статистичного аналізу максимального стоку та аналізу впливу водосховищ [14, 15].

Отже, **метою** даної публікації є оцінка трансформації водного стоку Дністра внаслідок зарегулювання із використанням гідрологічного методу як першого кроку при визначенні параметрів екологічного стоку.

Вихідні дані та методи дослідження.

Як зазначено в Додатку II 1.4 до ВРД, оцінка змін гідрологічного режиму повинна починатися з інвентаризації всього басейну річки. Така оцінка певною мірою виконана в рамках розробки Плану управління річковим басейном Дністра [16] та спеціального тематичного звіту щодо впливу дністровських водосховищ на стан Дністра [15] – додатку до Транскордонного діагностичного аналізу басейну річки Дністер у рамках проекту ГЕФ/ПРООН/ОБСЄ/СЕК ООН «Сприяння транскордонному співробітництву та комплексному управлінню водними ресурсами у басейні річки Дністер». Згідно з [16] забори води, противопаводковий захист, коливання рівнів води нижче гребель гідроелектростанцій, регулювання стоку шляхом створення водосховищ та ставків в тій чи іншій мірі негативно впливають на природний гідрологічний режим річок.

На Дністрі найбільшими водосховищами є Дністровське та Дубосарське. Їх основні мофрометричні характеристики наведені в [15, 17]. Водосховища мають багатоцільове

призначення та забезпечують потреби зрошення, водопостачання, боротьби з повенями та паводками, вироблення електроенергії, судноплавства, рекреації та ін.

Дубосарське водосховище, що розташоване на відстані 351 км від гирла (рис. 1), здійснює у межений період - фактично тижневе, а в повені – добове регулювання стоку. Дністровське водосховище, що розташоване на відстані 677,7 км від гирла, здійснює сезонне з переходом на річне регулювання стоку – отже є головним регулятором на Дністрі, потребує більшої уваги з точки зору навантаження на гідрологічний режим та є об'єктом нашого дослідження.

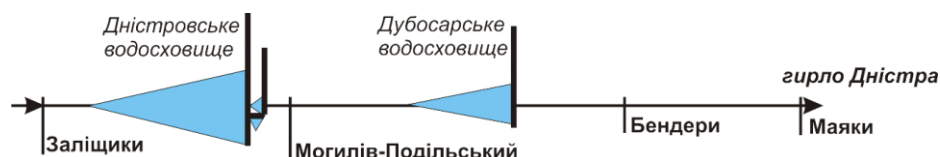


Рис.1. Лінійна схема розміщення руслових дністровських водосховищ

З метою оцінки трансформації гідрологічного режиму в роботі використані моніторингові ряди щоденних середньодобових витрат води постів Гідрометцентру України з 1990 по 2020 роки. Оцінку природного стоку здійснювали на основі даних гідрологічних створів у руслі Дністра (г/п Заліщики) та його притоках Серет, Збруч, Жванчик, Смотрич, Студениця, Ушиця, Нічлава, Калюс та Лядова. Аналіз зарегульованого стоку проводили ґрунтуючись на витрати води в створі Могилів-Подільський. В процесі виконання аналізу здійснювали просторове порівняння природного та зарегульованого стоку. Такий підхід дав можливість виключити кліматичний вплив на стокові характеристики річки.

Розрахунок статистичних даних, компонентів та показників річкового стоку проводили із застосуванням методу індикаторів гідрологічних змін (ІНА) за допомогою відповідного програмного забезпечення ІНА v.7.1 [18]. Для статистичної оцінки режиму водного стоку метод ІНА включає 33 гідрологічні характеристики, які є екологічно значущими для функціонування водних та наводководних систем (таблиця 1) [9, 19]. Перевагою методу є те, що за допомогою цих характеристик можна здійснити детальний порівняльний аналіз гідрологічних даних «до впливу» і «після впливу» та оцінити ступінь зміни режиму природного стоку. Програма ІНА дозволяє отримувати результати параметричної (середнє значення) та непараметричної (медіана/процентиль) статистики. Основною вимогою застосування методу є наявність багаторічного стокового ряду (20 років і більше).

Таблиця 1. Екологічно значущі гідрологічні характеристики [9]

Групи гідрологічних характеристик	Гідрологічна характеристика		Екологічна значущість групи
Величини місячних характеристик (середні або медіанні значення) група 1 12 показників	ІНА ₁	Витрата води у січні (м ³ /с)	забезпечення належних умов існування для водних організмів; підтримка ґрунтової вологи для рослин; забезпечення водою наземних тварин; покращення кормових умов для хижаків та ін. формування необхідного температурного та кисневого режимів; стабілізація продукційно-деструкційних процесів у водній масі.
	ІНА ₂	Витрата води у лютому (м ³ /с)	
	ІНА ₃	Витрата води у березні (м ³ /с)	
	ІНА ₄	Витрата води у квітні (м ³ /с)	
	ІНА ₅	Витрата води у травні (м ³ /с)	
	ІНА ₆	Витрата води у червні (м ³ /с)	
	ІНА ₇	Витрата води у липні (м ³ /с)	
	ІНА ₈	Витрата води у серпні (м ³ /с)	
	ІНА ₉	Витрата води у вересні (м ³ /с)	
	ІНА ₁₀	Витрата води у жовтні (м ³ /с)	
	ІНА ₁₁	Витрата води у листопаді (м ³ /с)	
	ІНА ₁₂	Витрата води у грудні (м ³ /с)	

Величини та тривалість спостережень екстремальних витрат води група 2 12 показників	ІНА ₁₃	1-денна мінімальна витрата (м ³ /с)	забезпечення балансу конкурентоспроможних, рудеральних і стресостійких рослин; створення місць для розвитку рослин; формування механізмів посухостійкості рослин за умов водного дефіциту; формування русла річки та фізичного середовища існування; забезпечення обміну поживними речовинами між руслом та заплавою; підтримка розвитку певних видів рослин на територіях заплави; збільшення площ природних нерестовищ та забезпечення умов для розмноження риб; обмеження розвитку інвазійних видів; покращення кормових умов для хижаків та ін.
	ІНА ₁₄	3-денна мінімальна витрата (м ³ /с)	
	ІНА ₁₅	7-денна мінімальна витрата (м ³ /с)	
	ІНА ₁₆	30-денна мінімальна витрата (м ³ /с)	
	ІНА ₁₇	90-денна мінімальна витрата (м ³ /с)	
	ІНА ₁₈	1-денна максимальна витрата (м ³ /с)	
	ІНА ₁₉	3-денна максимальна витрата (м ³ /с)	
	ІНА ₂₀	7-денна максимальна витрата (м ³ /с)	
	ІНА ₂₁	30-денна максимальна витрата (м ³ /с)	
	ІНА ₂₂	90-денна максимальна витрата (м ³ /с)	
Дати спостереження екстремальних витрат води група 3 2 показника	ІНА ₂₃	Число днів без стоку	забезпечення доступу до спеціальних місць проживання під час розмноження; встановлення необхідної поведінки для мігруючих риб в період нересту.
	ІНА ₂₄	Індекс базисного стоку ²	
Тривалість та періодичність спостережень низьких та високих витрат води група 4 4 показника	ІНА ₂₅	Календарна дата спостереження 1-денної мінімальної витрати	формування механізмів посухостійкості рослин за умов водного дефіциту; збільшення площ природних нерестовищ та забезпечення умов для розмноження риб; розмноження водоплаваючих птахів; підтримка різноманітності рослин у водно-болотних угіддях; утримання та накопичення поживних речовин; формування субстрату русла; підтримка сольового режиму гирлових ділянок та лиманів; контроль розвитку прибережної рослинності та ін.
	ІНА ₂₆	Календарна дата спостереження 1-денної максимальної витрати	
	ІНА ₂₇	Кількість періодів з низькою водністю	
	ІНА ₂₈	Тривалість маловодного періоду, днів у році	
Частота та інтенсивність зміни гідрологічної ситуації група 5 3 показника	ІНА ₂₉	Кількість періодів у році з високою водністю	формування водного стресу у рослин при зниженні рівня води; утримання тварин у пастках на островах та водно-болотних угіддях при підвищенні рівня води; осушення прибережних ділянок, загибель малорухомих водних організмів.
	ІНА ₃₀	Тривалість багатоводного періоду, днів у році	
	ІНА ₃₁	Інтенсивність збільшення витрат води - (м ³ /с)/доба	
	ІНА ₃₂	Інтенсивність зменшення витрат води - (м ³ /с)/доба	
	ІНА ₃₃	Частота зміни гідрологічної ситуації	

¹ 3-, 7-, 30- і 90-денні мінімуми та максимуми розраховуються методом ковзних середніх відповідної тривалості для кожного можливого періоду, який повністю знаходиться у межах водного року.

² Індекс базисного стоку отриманий шляхом відношення величин 7-денного мінімуму до середньорічної витрати води

Додатково ІНА пропонує розрахунок 34 характеристик для п'яти різних типів екологічного стоку: екстремально низький стік, низький стік, підвищений стік (стік в межах русла до виходу води на заплаву), незначні повені (паводки) та катастрофічні повені (паводки) [9, 19]. Тобто, фактично гідрограф стоку розчленовують за екологічно релевантними фазами водного режиму. Вони характеризують повний спектр умов, які необхідно підтримувати для збереження екологічної цілісності річки.

Загалом при аналізі зміненого гідрологічного режиму використовуючи метод ІНА можна користуватися 67 характеристиками. Однак метод ІНА, незважаючи на переваги здійснення такої точної оцінки змін гідрологічного режиму, не дає жодних порогових значень та рекомендованих показників екологічного стоку. В деяких наукових працях запропоновано зміни ранжувати на три класи: 0-33% – відсутні або незначні, 34-67% – середні, 68-100% – зміни високого ступеню [9].

Виклад основного матеріалу. Результати дослідження аналізу змін гідрологічних характеристик з використанням параметричної статистики представлені по групах згідно з табл. 1. Загалом, середні витрати води за 31-річний період природного та зарегульованого стоку мало відрізняються і становлять 265 м³/с та 253 м³/с відповідно. Зменшення річного стоку Дністра нижче Дністровського комплексного гідровузла в середньому на 4,8 % скоріш за все обумовлено величиною додаткового випаровування з поверхні водосховища та наявністю на цій ділянці річки водозаборів міст Кам'янець-Подільський та Хотин, а також, ймовірно, недостатньою точністю обліку стоку регулярними спостереженнями в створі Могилів-Подільський через його внутрішньодобові коливання [15].

Внутрішньорічний перерозподіл стоку представлений в таблиці 2. Практично всі зміни гідрологічних характеристик в створі Могилів-Подільський відносяться до класу незначних. Єдиний місяць, який потребує уваги з точки зору перерозподілу стоку це березень. Він характеризується зменшенням стоку на 34,3 % від природного і відноситься до класу середніх змін. Це пов'язано, перш за все, з акумулюванням води у Дністровському водосховищі до нормального підпірного рівня з метою проведення екологічного попуску у квітні-травні [20].

Результати обчислень змін середніх значень характеристик групи 2 представлені в табл. 3. Порівняння даних гідрологічних рядів за період 1990–2020 роки вказує на те, що після створення водосховища мінімальний стік збільшився, особливо це стосується 3- та 7-денного – на 30,3% та 32,1% відповідно. Одночасно спостерігається зменшення максимальної середньодобової витрати води – на 32%. Серед групи 2 найбільших трансформацій середнього ступеню зазнає індекс базисного стоку, відслідковується його збільшення на 41,9%.

Таблиця 2. Середні значення місячних витрат води природного і зарегульованого стоку та відсоток відхилення змінених гідрологічних характеристик

Група 1 (м ³ /с)		Природний стік – притік води до Дністровського водосховища включаючи бокову притоку (1990-2020 рр.)	Зарегульований стік (витрати води в створі Могилів- Подільський) (1990-2020 рр.)	Відхилення, %
ІНА ₁	Витрата води у січні	189	175	-7,3
ІНА ₂	Витрата води у лютому	223	186	-16,6
ІНА ₃	Витрата води у березні	359	236	-34,3
ІНА ₄	Витрата води у квітні	431	397	-7,8
ІНА ₅	Витрата води у травні	317	310	-2,2
ІНА ₆	Витрата води у червні	332	331	-0,3
ІНА ₇	Витрата води у липні	297	317	6,9
ІНА ₈	Витрата води у серпні	225	268	19,0
ІНА ₉	Витрата води у вересні	208	219	5,1
ІНА ₁₀	Витрата води у жовтні	201	207	3,0
ІНА ₁₁	Витрата води у листопаді	210	202	-4,0
ІНА ₁₂	Витрата води у грудні	191	183	-4,0
Середня щорічна витрата води		265	253	-4,8

Таблиця 3. Середні значення екстремальних величин природного і зарегульованого стоку та відсоток відхилення змінених гідрологічних характеристик

Група 2		Природні екстремальні величини (1990-2020 рр.)	Екстремальні величини зарегульованого стоку (1990-2020 рр.)	Відхилення, %
ІНА ₁₃	1-денна мінімальна витрата	87,5	108	23,1
ІНА ₁₄	3-денна мінімальна витрата	90	117	30,3
ІНА ₁₅	7-денна мінімальна витрата	93	123	32,1
ІНА ₁₆	30-денна мінімальна витрата	110	136	24,2
ІНА ₁₇	90-денна мінімальна витрата	151	159	5,06
ІНА ₁₈	1-денна максимальна витрата	1873	1275	-32,0
ІНА ₁₉	3-денна максимальна витрата	1586	1177	-25,8
ІНА ₂₀	7-денна максимальна витрата	1190	1030	-13,5
ІНА ₂₁	30-денна максимальна витрата	690	632	-8,4
ІНА ₂₂	90-денна максимальна витрата	454	419	-7,8
ІНА ₂₃	Число днів без стоку	0	0	–
ІНА ₂₄	Індекс базисного стоку	0,36	0,51	41,9

Характеристики групи 3 вказують на календарні періоди, коли протягом року відмічається мінімальна та максимальна величини витрати води. Так, за період дослідження, природна мінімальна витрата води, яка коливається в межах від 55 до 127 м³/с, переважно припадає на зимовий період або на кінець літа-початок осені. Мінімальна витрата води зарегульованого стоку з величинами 95–133 м³/с майже третину випадків спостерігається у березні. В інші періоди кількість спостережень мінімальних значень в році зменшується, особливо в літньо-осінній сезон. Загальне відхилення проходження мінімальної витрати становить 59 %, що відноситься до класу середніх змін. Сезони, коли проходять максимальні витрати води на ділянці річки нижче Дністровського водосховища, залишилися практично аналогічними з природними умовами – це періоди значних весняних повеней або літніх паводків.

Група 4 складається з характеристик, які описують тривалість і періодичність коливань водності та визначають тривалість маловодного та багатоводного періодів в році. В якості порогової витрати води для встановлення маловодного періоду нами використано показник мінімального попуску через буферний гідровузол з величиною 104 м³/с згідно з додатком 5 Правил експлуатації [17]. Для визначення багатоводного періоду задана порогова витрата води 405 м³/с, яка є, на нашу думку, екологічно значущою, оскільки в нижній течії Дністра на деяких ділянках починається вихід води на заплаву [15]. Результати щодо характеристик тривалості маловодного та багатоводного періодів природного та зарегульованого стоку наведені в табл. 4.

Таблиця 4. Середні значення тривалості та періодичності коливань маловодного і багатоводного періодів природного та зарегульованого стоку, відсоток відхилення змінених гідрологічних характеристик

Група 4		Порогові витрати води	Природний стік (1990-2020 рр.)	Зарегульований стік (1990-2020 рр.)	Відхилення, %
ІНА ₂₇	Кількість періодів з низькою водністю	104	3,7	2,1	-43,2
ІНА ₂₈	Тривалість маловодного періоду, днів у році		8,9	0,5	-94,1
	Загальна тривалість маловодного періоду в році		33	1	-96,9
ІНА ₂₉	Кількість періодів у році з високою водністю	405	7,6	9,4	19,7
ІНА ₃₀	Тривалість багатоводного періоду, днів у році		7,1	5,3	-25,4
	Загальна тривалість багатоводного періоду в році		54	50	-7,4

Середня тривалість маловодного періоду в природних умовах складає 33 дні у році, нижче Дністровського водосховища це значення становить в середньому один день. Тобто, спостерігається суттєве скорочення як тривалості (до 94,1%), так і періодичності спостережень низьких витрат води, що пов'язано з виконанням Дністровським комплексним гідровузлом функції водозабезпечення. Найбільш маловодним (за період з 1990 по 2020 рр.) виявився 2015 рік, де більше третини року (138 днів) меженні природні витрати становили менше порогової величини 104 м³/с. Нижче за течією, в створі Могилів-Подільський, ця тривалість в період гідрологічної посухи 2015 року, склала всього лише два дні. Загалом в останні роки для природного стоку прослідковується тенденція до збільшення тривалості маловодного періоду. Середня загальна тривалість багатоводного періоду в природних умовах складає 55 днів у році, нижче Дністровського водосховища це значення практично не змінюється і становить в середньому 50 днів. Зміни щодо тривалості і періодичної багатоводного періоду класифікуються як незначні.

Групу 5 представляють характеристики, що виявляють зміни інтенсивності підвищення витрат води на підйомі гідрографа та зниження на спаді (позитивних або негативних послідовних добових різниць), а також частоту цих змін. Результати аналізу отриманих середніх значень характеристик групи 5 наведені в табл. 5.

Таблиця 5. Середні значення інтенсивності і частоти зміни добових витрат води природного та зарегульованого стоку та відсоток відхилення змінених гідрологічних характеристик

Група 5		Природні величини (1990-2020 рр.)	Величини зарегульованого стоку (1990-2020 рр.)	Відхилення, %
ІНА ₃₁	Інтенсивність збільшення витрат води, (м³/с)/доба	53,1	46,3	-12,7
ІНА ₃₂	Інтенсивність зменшення витрат води, (м³/с)/доба	-30,0	-42,8	42,4
ІНА ₃₃	Частота зміни гідрологічної ситуації	101	199	97,2

Суттєвих перетворень (97,2 %) зазнала частота гідрологічних змін (коливань витрат води), що, скоріше за все, пов'язано з проходженням хвиль попусків води Нижньодністровської ГЕС в районі г/п Могилів-Подільський. Не зважаючи на те, що програма не враховує внутрішньодобові коливання, при дискретних вимірах середньодобових коливань цілком можливе випадкове потрапляння на різні фази. Слід зазначити, що з віддаленням на 80 км від Дністровського гідроенергетичного комплексу попускові хвилі трансформуються і їх вплив на екосистему суттєво зменшується [21].

Підсумовуючи масштаби змін 33-х гідрологічних характеристик, можна побудувати гістограму, ранжуючи їх за категоріями: змінами високого ступеню, середніх та незначних змін (рис. 2).

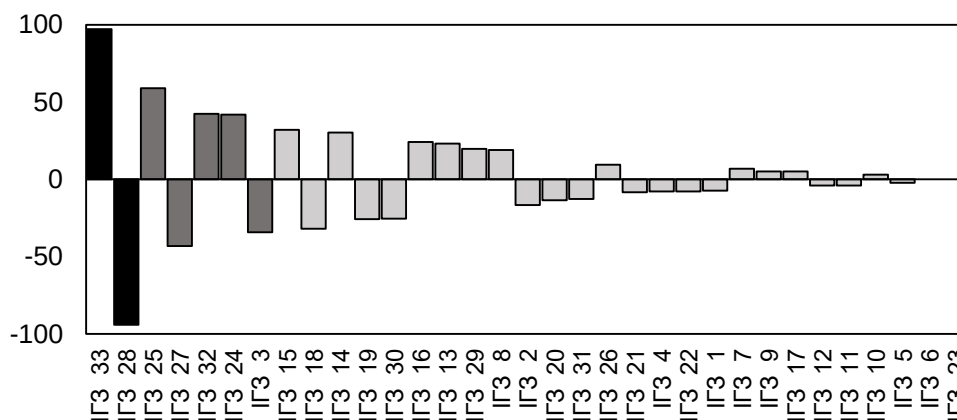


Рис. 2. Гістограма розподілу змін гідрологічних характеристик (у відсотках) внаслідок зарегулювання стоку (чорним кольором позначено зміни високого ступеню, темно сірим та світло сірим – середні та незначні зміни відповідно)

Отже, аналіз змін 33-х гідрологічних характеристик показав, що зарегулювання стоку Дністровським водосховищем призвело до ряду трансформацій у водному режимі. До змін високого ступеню відноситься:

- збільшення частоти зміни гідрологічної ситуації (ІНА₃₃) неподалік Дністровського комплексного гідровузла;
- зменшення тривалості маловодного періоду (ІНА₂₈).

До середніх змін відносяться показники, що вказують на:

- зміщення спостережень 1-денної мінімальної витрати на більш ранні терміни;
- зменшення періодичності спостережень маловодного періоду;
- збільшення інтенсивності зниження витрат на спаді гідрографа;
- збільшення значення індексу базисного стоку;
- зменшення середньомісячних витрат води у березні.

Під час аналізу трансформацій 34 характеристик для п'яти різних типів екологічного стоку детально вивчалися способи поділу гідрографу на екстремальний низький стік, низький стік, підвищений стік, незначні повені (паводки) та катастрофічні паводки. Він може бути здійснений автоматично програмою, або користувачем. Так, наприклад при поділі гідрографа для річки Південний Буг автори дослідження [14] під час аналізу максимальних витрат використовували алгоритм, який запропоновано розробником ІНА [9]. Однак, на наш погляд, для Дністра він є недосить вдалим, оскільки не враховує всю специфіку гідроморфологічних природних умов річки. Запропоновані граничні показники для поділу на різні типи екологічного стоку наведені в табл. 6.

Таблиця 6. Граничні природні показники для поділу гідрографа на типи екологічного стоку

Тип екологічного стоку	Значення граничних витрат води	Обґрунтування
Екстремальний низький стік	нижче 104 м ³ /с	характеристика мінімального стоку згідно з [17]
Низький стік	нижче 189 м ³ /с*	50-ий перцентиль як запропоновано ІНА
Підвищений стік	вище 302 м ³ /с	75-ий перцентиль як запропоновано ІНА
Незначні повені (паводки)	максимальна витрата 486 м ³ /с і більше	характеристика визначена згідно з [22]
Екстремальні повені (паводки)	максимальна витрата 2190 м ³ /с і більше	небезпечна відмітка на г/п Могилів-Подільський складає 600 см, що згідно з кривою координат відповідає витраті 2190 м ³ /с

* – значення підвищеного стоку розпочинається тоді, коли щоденні витрати води зростають більше ніж на 25% за день і закінчується, коли відбувається зниження щоденних витрат води менше ніж на 10% за добу.

Приклад поділу гідрографа стоку за 2020 рік для г/п Заліщики на різні типи екологічного стоку наведено на рис.3.

Результати дослідження аналізу змін деяких характеристик різних типів екологічного стоку з використанням параметричної статистики представлені в табл. 7. До змін високого ступеню відноситься суттєве скорочення тривалості спостереження екстремально низького стоку та збільшення більше ніж у два рази періодичності фази підвищеного стоку при одночасному незначному скороченні його тривалості. До середніх змін належить: зменшення періодичності екстремальних паводків та деякого збільшення інтенсивності зміни витрат на спаді гідрографа фази підвищеного стоку.

Отримані значення характеристик можуть мати практичний інтерес при встановленні регламентів штучних гідрографів. Наприклад, у рекомендаціях роботи [20] було запропоновано перегляд діючих вимог щодо добового приросту витрат води на підйомі гідрографа під час здійснення весняного попуску, який наразі на Міжвідомчій комісії по встановленню режимів роботи дніпровських та дністровських водосховищ в переважній більшості узгоджується на рівні 50 м³/с. Як видно з отриманих даних, під час формування незначних повеней інтенсивність збільшення природних витрат води складає в середньому 186 м³/с на добу (див. табл. 7).

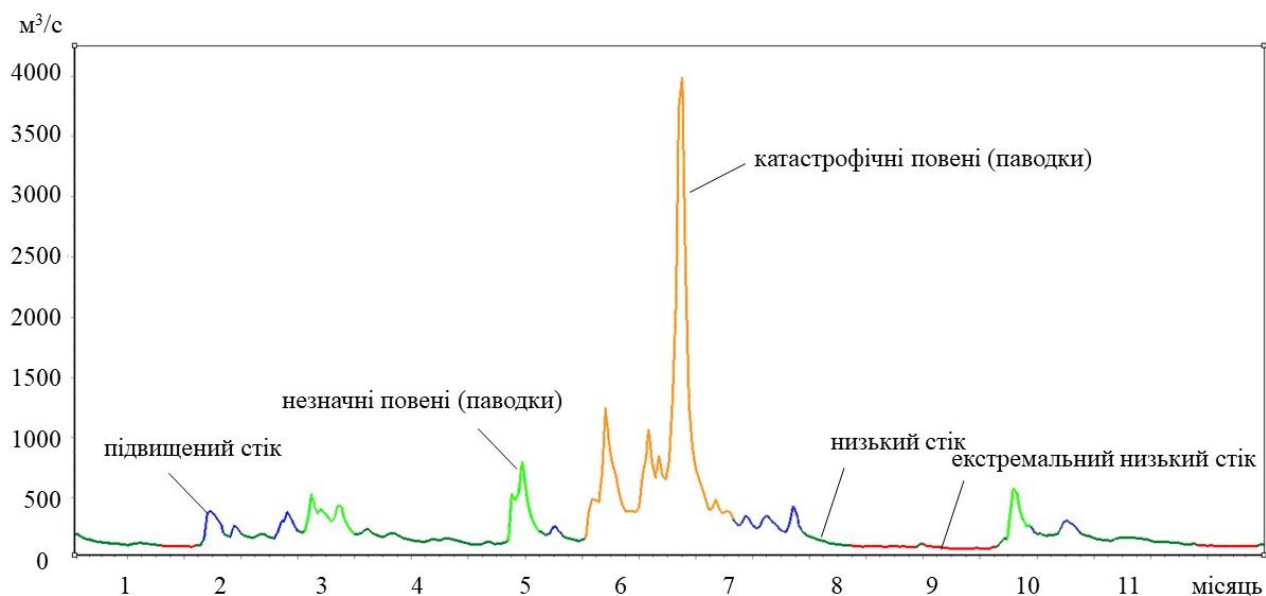


Рис. 3. Поділ гідрографа стоку на типи екологічного стоку в створі г/п Заліщики на прикладі 2020 року

Таблиця 7. Зміна середніх значень деяких характеристик різних типів екологічного стоку

Типи екологічного стоку та їх характеристики		Природні значення (1990-2020 рр.)	Значення зарегульованого стоку (1990-2020 рр.)	Відхилення, %
Екстремально низький стік	середня витрата, м³/с	91,7	99,2	8,2
	тривалість, днів у році	11	1,4	-87,3
	періодичність, кількість раз у році	3,9	2,8	-28,7
Низький стік	середня витрата, м³/с	179	169	-5,6
Підвищений стік	середня витрата, м³/с	325	288	-11,1
	тривалість, днів у році	5,3	3,4	-37,2
	періодичність, кількість раз у році	7,1	15,6	118
	інтенсивність збільшення витрат води, (м³/с)/доба	73,7	74,6	1,2
	інтенсивність зменшення витрат води, (м³/с)/доба	-32,9	-54,6	66,0
Незначні повені (паводки)	середня витрата, м³/с	885	785	-11,3
	тривалість, днів у році	18,7	18,2	-2,7
	періодичність, кількість раз у році	4,0	3,7	-6,5
	інтенсивність збільшення витрат води, (м³/с)/доба	186	123	-33,9
	інтенсивність зменшення витрат води, (м³/с)/доба	-61,0	-72,2	18,4
Екстремальні повені (паводки)	середня витрата, м³/с	3389	3280	-3,2
	тривалість, днів у році	44,9	39,7	-11,7
	періодичність, кількість раз у році	0,26	0,01	-62,5
	інтенсивність збільшення витрат води, (м³/с)/доба	310	233	-24,9
	інтенсивність зменшення витрат води, (м³/с)/доба	-152	-140	-7,8

Висновки. В роботі визначені основні зміни гідрологічного режиму Дністра внаслідок зарегулювання стоку на основі аналізу 33-х гідрологічних характеристик та 34-х характеристик різних типів екологічного стоку. Загалом суттєві або середні трансформації гідрологічного режиму зарегульованого стоку можна розділити на декілька категорій. Перша, що пов'язана зі змінами екстремальних величин, стосується важливих питань водозабезпечення та захисту населення від паводків. В цій категорії при встановленні певних регламентів витрат води та досягненні цілей ВРД необхідно проявляти певну гнучкість при управлінні, і чітко розуміти екологічні наслідки. В другу категорію відносяться характеристики, що визначають частоту зміни гідрологічної ситуації та інтенсивність зменшення витрат води на спаді гідрографа у фазі підвищеного стоку. Ці характеристики переважно пов'язані з добовим регламентом експлуатації ГЕС. Особливої уваги, на наш погляд, потребує оцінка наслідків зменшення витрат води у березні, особливо в гирловій ділянці Дністра.

Однак, визначені вищевказані гідрологічні зміни мало що говорять про ступінь впливу на біоту та біологічні процеси. Залишається складна робота з інтерпретації та документування специфічних для організмів і угруповань реакцій на ці гідрологічні зміни. Висування гіпотез, побудова і перевірка моделей відбувається на наступних рівнях ієрархічного підходу з оцінки і впровадження екологічного стоку.

Список літератури

1. Arthington AH, Bhaduri A, Bunn SE, Jackson SE, Tharme RE, Tickner D, Young B, Acreman M, Baker N, Capon S, Horne AC, Kendy E, McClain ME, Poff NL, Richter BD and Ward S. The Brisbane Declaration and Global Action Agenda on Environmental Flows. *Front. Environ. Sci.* 2018. 6:45. doi: 10.3389/fenvs.2018.00045
2. Ecological flows in the implementation of the Water Framework Directive / CIS guidance document n°31. Technical Report. European Union. 2015. 108 p.
3. Tharme R. E. "A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers" // *River Research and Applications*. 2003.19: 397-441.
4. Petts G.E. Instream Flow Science For Sustainable River Management // *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 2009. 45:1071–1086. doi: 10.1111/j.1752-1688.2009.00360.x
5. Linnansaari T., Monk. W.A., Baird D.J. and Curry. R.A. Review of approaches and methods to assess Environmental Flows across Canada and internationally // *DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc.* 2012. 039. Viii. 74 p.
6. Poff. N. L., Richter. B. D., Arthington. A. H. et al. The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): a new framework for developing regional environmental flow standards // *Freshwater Biology* 2010. 55:147-170.
7. Bussetini M., Vezza P. Guidance on Environmental Flows. Integrating E-flows Science with Fluvial Geomorphology to Maintain Ecosystem Services. 2019. WMO-No. 1235, 52 p.
8. Opperman JJ, Kendy E, Tharme RE, Warner AT, Barrios E, Richter BD. A Three-Level Framework for Assessing and Implementing Environmental Flows // *Front. Environ. Sci.* 2018. 6:76. doi: 10.3389/fenvs.2018.00076
9. Richter B.D., Baumgartner J.V., Powell J. and Braun D.P. A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems // *Conservation Biology*. 1996. 10(4). 1163-1174.
10. Rinaldi. M., B. Belletti; W. Van de Bund, W. Bertoldi, A. Gurnell, T. Buijse, E. Mosselman. Review on eco-hydromorphological methods / Editors N. Friberg. M. O'Hare and A. Poulsen. 2013. Deliverable of the EU FP7 REFORM project.
11. Poff. N.L., J.D. Allan, M. B. Bain et al. The natural flow regime: a new paradigm for riverine conservation and restoration // *BioScience*.1997.47.769-784.
12. Arthington A.H. Environmental flows. Saving rivers in the Third Millennium. 2012. University of California Press. 406 pp.
13. Junk. W. J.; P. B Bayley and R.E. Sparks The Flood Pulse Concept in River Floodplain Systems. In: Doge. D.P. (Ed.). *Proc. Int. Large River Symp (Lars)*. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.. 1989. 106: 110-127.
14. Л. О. Горбачова, В. С. Приходькіна, Б. Ф. Христюк, Т. О. Заболотня, В. О. Розлач. Статистичний аналіз максимального стоку води річки Південний Буг за методом «Indicators of hydrologic alteration» // *Український гідрометеорологічний журнал*, 2021, No 27. pp. 42-54 doi: 10.31481/uhmj.27.2021.05 ISSN 2311-0902 (print). 2616-7271 (online).

15. V. Hrebin, V. Hubanov, O. Hulciaeva et al. Analysis of the effects of Dniester reservoir on the state of the Dniester river. Report of the Moldovan-Ukrainian expert group, thematic supplement to the Transboundary Diagnostic Analysis of the Dniester / technical editing N. Denisov. Vienna-Geneva-Kyiv-Chisinau, 2019. 64 p.
16. План управління річковим басейном Дністра (2025-2030) / Ярошевич О., Афансьєв С.. Дністровське басейнове управління водних ресурсів та ін. Версія 1. липень 2021. 232 с.
17. Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України № 209 від 23 травня 2022 року «Про затвердження Правил експлуатації водосховищ Дністровського комплексного гідровузла», зареєстровано в Міністерстві юстиції України 13 червня 2022 року за № 635/37971.
18. The Nature Conservancy. Indicators of Hydrologic Alteration Version 7.1 User's Manual. 2009. URL: <https://www.conservancygateway.org/ConservationPractices/Freshwater/EnvironmentalFlows/MethodsandTools/IndicatorsofHydrologicAlteration/Documents/IHAV7.pdf>
19. Richter. B. D. and G. A. Thomas. Restoring environmental flows by modifying dam operations // Ecology and Society. 2007. 12(1) URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol12/iss1/art12/>
20. Oksana Hulciaeva, Nickolai Denisov Analysis of the goals, limitations and opportunities for optimizing the regime of spring ecological reproductive releases from the Dniester reservoir / Global Environment Facility project "Enabling Transboundary Cooperation and Integrated Water Resources Management in the Dniester River Basin. OSCE. Kyiv-Geneva, 2020. 19 p.
21. Гуляєва О.О. Попусковий режим Дністровського гідроенергетичного комплексу та його вплив на абіотичні компоненти екосистеми транскордонної ділянки Дністра / Всеукраїнська конференція молодих вчених «Метеорологія, гідрологія, моніторинг в контексті екологічних викликів». Київ, 2016. С. 22–23.
22. Кожем'якін Д. В. Характеристика паводкового режиму р. Дністер – м. Заліщики // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2016. Т. 4. С. 53-62. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/glghge_2016_4_7

References

1. Arthington AH, Bhaduri A, Bunn SE, Jackson SE, Tharme RE, Tickner D, Young B, Acreman M, Baker N, Capon S, Horne AC, Kendy E, McClain ME, Poff NL, Richter BD and Ward S The Brisbane Declaration and Global Action Agenda on Environmental Flows. Front. Environ. Sci. 2018. 6:45. doi: 10.3389/fenvs.2018.00045
2. Ecological flows in the implementation of the Water Framework Directive / CIS guidance document n°31. Technical Report. European Union. 2015. 108 p.
3. Tharme R. E. "A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers" // River Research and Applications. 2003.19: 397-441.
4. Petts G.E. Instream Flow Science For Sustainable River Management // JAWRA Journal of the American Water Resources Association 2009. 45:1071–1086. doi: 10.1111/j.1752-1688.2009.00360.x
5. Linnansaari T., Monk. W.A., Baird D.J. and Curry. R.A. Review of approaches and methods to assess Environmental Flows across Canada and internationally // DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2012. 039. Viii. 74 p.
6. Poff. N. L., Richter. B. D., Arthington. A. H. et al. The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): a new framework for developing regional environmental flow standards // Freshwater Biology 2010. 55:147-170.
7. Bussettini M., Vezza P. Guidance on Environmental Flows. Integrating E-flows Science with Fluvial Geomorphology to Maintain Ecosystem Services. 2019. WMO-No. 1235, 52 p.
8. Opperman JJ, Kendy E, Tharme RE, Warner AT, Barrios E, Richter BD. A Three-Level Framework for Assessing and Implementing Environmental Flows // Front. Environ. Sci. 2018. 6:76. doi: 10.3389/fenvs.2018.00076
9. Richter B.D., Baumgartner J.V., Powell J. and Braun D.P. A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems // Conservation Biology. 1996. 10(4). 1163-1174.
10. Rinaldi. M., B. Belletti; W. Van de Bund; W. Bertoldi; A. Gurnell; T. Buijse; E. Mosselman Review on eco-hydromorphological methods / Editors N. Friberg. M. O'Hare and A. Poulsen. 2013. Deliverable of the EU FP7 REFORM project.
11. Poff. N.L., J.D. Allan, M. B. Bain et al. The natural flow regime: a new paradigm for riverine conservation and restoration // BioScience.1997.47. p. 769-784.
12. Arthington A.H. Environmental flows. Saving rivers in the Third Millennium. 2012. University of California Press. 406 pp.
13. Junk. W. J.; P. B Bayley and R.E. Sparks. The Flood Pulse Concept in River Floodplain Systems. In: Doge. D.P. (Ed.). Proc. Int. Large River Symp (Lars). Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.. 1989. 106: 110-127.

14. L. O. Horbachova, V. S. Prykhodkina, B. F. Khrystiuk, T. O. Zabolotnia, V. O. Rozlach Statystychnyi analiz maksimalnogo stoku vody richky Pivdennyi Buh za metodom «Indicators of hydrologic alteration» [Statistical analysis of the maximum water flow of the Southern Bug River using the "Indicators of hydrologic alteration" method] // Ukrainian hydrometeorological journal. 2021. 27. pp. 42-54 doi: 10.31481/uhmj.27.2021.05 ISSN 2311-0902 (print). 2616-7271 (online).
15. V. Hrebin, V. Hubanov, O. Huliaieva et al. Analysis of the effects of Dniester reservoir on the state of the Dniester river. Report of the Moldovan-Ukrainian expert group, thematic supplement to the Transboundary Diagnostic Analysis of the Dniester / technical editing N. Denisov. Vienna-Geneva-Kyiv-Chisinau, 2019. 64 p.
16. Plan upravlinnia richkovym baseinom Dnistra (2025-2030) [Management plan of the Dniester river basin] / Yaroshevych O. Afansiev S. Dnistrovske baseinove upravlinnia vodnykh resursiv et al. Version 1. 2021. 232 c.
17. Nakaz Ministerstva zakhystu dovkilia ta pryrodnykh resursiv Ukrainy № 209 vid 23 travnia 2022 roku «Pro zatverdzhennia Pravyl ekspluatatsii vodoskhovyshch Dnistrovskoho kompleksnogo hidrovuzla», zareiestrovano v Ministerstvi yustytzii Ukrainy 13 chervnia 2022 roku za № 635/37971 [Order of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine No. 209 of May 23, 2022 "On Approval of the Rules for the Operation of Reservoirs of the Dniester Hydropower Complex", registered in the Ministry of Justice of Ukraine on June 13, 2022 under No. 635/37971.].
18. The Nature Conservancy. Indicators of Hydrologic Alteration Version 7.1 User's Manual. 2009. URL: <https://www.conservationgateway.org/ConservationPractices/Freshwater/EnvironmentalFlows/MethodsandTools/IndicatorsofHydrologicAlteration/Documents/IHAV7.pdf>
19. Richter. B. D. and G. A. Thomas. Restoring environmental flows by modifying dam operations // Ecology and Society. 2007. 12(1) URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol12/iss1/art12/>
20. Oksana Huliaieva, Nickolai Denisov. Analysis of the goals, limitations and opportunities for optimizing the regime of spring ecological reproductive releases from the Dniester reservoir / Global Environment Facility project "Enabling Transboundary Cooperation and Integrated Water Resources Management in the Dniester River Basin. OSCE. Kyiv-Geneva, 2020. 19 p.
21. Huliaieva O. Popuskovy rezhy Dnistrovskoho hidroenerhetychnoho kompleksu ta yoho vplyv na abiotychni komponenty ekosystemy transkordonnoi dilianky Dnistra [The release flow regime of the Dniester hydropower complex and its impact on the abiotic components of the ecosystem of the transboundary section of the Dniester] / Vseukrainska konferentsiia molodykh vchenykh «Meteorolohiia, hidrolohiia, monitorynh v konteksti ekolohichnykh vyklykiv». Kyiv, 2016. C. 22–23.
22. Kozhem'iakin D. V. Kharakterystyka pavodkovoho rezhymu r. Dniester – m. Zalishchyky [Characteristics of the flood regime of the Dniester River - Zalishchyki] // Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia. 2016. T. 4. C. 53-62. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/glghe_2016_4_7

Analysis of altered hydrological regime of the Dniester river as basic for ecological flows assessment Huliaieva O.O. Usov O.Ye.

The theoretical and practical aspects of implementing the concept of ecological flow in Ukraine in accordance with the Water Framework Directive and CIS guidance document n°31 "Ecological flows" are examined in the article. On the example of the Dniester, a hydrological method has been applied which is the first step in a three-tiered hierarchy approach to accommodate ecological flows applications. The transformation of the water regime owing to flow regulation has been analyzed using hydrological alteration indicators.

With the help of the specific IHA v.7.1 software, a spatial comparative analysis between the average daily discharges water in hydrologic sections Zalyshky, including the lateral tributaries, and Mohyliv-Podilskyi from 1990 to 2020 has been carried out. In the article 33 hydrologic parameters which characterize attributes of the flow regime relevant to the ecosystem functioning and 34 parameters for various types of ecological flow have been analyzed using parametric statistics. As a result, we came to the conclusions that duration, peak flow, timing of extreme values (minimum and maximum flow) and characteristics that determine the frequency of changes in the hydrological situation and fall rate of high flow pulses are subjected to the greatest changes due to regulations flow.

As a result of the intra-annual redistribution of runoff by the reservoir, the discharge water on March is suffered the greatest transformation. It is related with the accumulation of water in the Dniester reservoir to the normal water level for the purpose of carrying out ecological release on April-May. The obtained values of the characteristics may have a keen practical interest in establishing regulations for artificial spring hydrographs of release.

Approbation of IHA method confirmed the possibility of its application on the rivers of Ukraine, provided long-term series of hydrological monitoring are available. The obtained results can serve as a basis for the development of a hydroecological monitoring programs for establishment an ecologically justified mode of operation of reservoirs. But there is still a lot of work of investigating and documenting organism- and community-specific responses to the above-mentioned hydrological alterations.

Key words: ecological flows, indicators of hydrological alteration, hydrological parameters, discharge of flow, Dniester river.

Надійшла до редколегії 23.11.2022