

УДК 556.165

DOI 10.47143/1684-1557/2023.1-2.5

МЕТОД ВИДІЛЕННЯ ЕКСТРЕМАЛЬНИХ РІЧНИХ ТА МІСЯЧНИХ ОБСЯГІВ ВИТРАТ РІЧОК НА ПРИКЛАДІ ДУНАЮ І ДНІПРА

Большаков В.М. – к. геогр.н., с.н.с.

Наукова дослідна установа «Український науковий центр екології моря», vbolshakov@ua.fm

Пропонується метод для вирішення гідрологічного завдання, що часто виникає під час аналізу результатів гідробіологічних досліджень у морі, а саме оцінки впливу на гідробіологічні процеси річкового стоку. Зазвичай для його вирішення досить розділити обсяги річкового стоку в часових масштабах рік, місяць на три градації: нормальні, аномально високі та аномально низькі. Метод передбачає, що необхідна при цьому інформація міститься у низці регулярних спостережень за витратами. Тому він, крім граничної простоти, має граничну об'єктивність, тобто відсутність впливу дослідника на визначення меж між градаціями.

Метод використаний для виділення у сорокарічних рядах щомісячних обсягів стоку Дунаю та Дніпра багатоводних та маловодних років, а також місяців повені та межені. Встановлено, що на обох річках близько 75 % років за обсягами стоку належать до нормальних, а решта приблизно порівну діляться між багатоводними та маловодними.

Запропоновано поняття місяців кліматичної повені та кліматичної межені. Місяці кліматичної повені на Дунаї та Дніпрі виявилися по два і вони однакові, а місяці кліматичної межені на цих річках виявилися різними не лише за назвою, а й за кількістю.

Порівняння у кожному конкретному році місячних витрат річок із встановленим таким чином кліматичним стандартом робить очевидними випадки раннього настання або запізнення фаз річного ходу. Виявляються також повноводні місяці поза весняною повинню, викликані великою кількістю дощових паводків.

За допомогою численного експерименту і з використанням того ж методу з'ясовано можливу причину відсутності на Дніпрі в окремі роки межені, тобто дуже низьких, нижчих від межі межені, витрат. Відмінності у річному перебігу місячних витрат річок Дунай та Дніпро швидше за все пов'язані з дуже великою різницею у ступені зарегульованості їх стоку.

Ключові слова: Дунай, Дніпро, витрати, водопілля, паводок, межень, ступінь зарегульованості стоку.

Вступ

Життєдіяльність усієї величезної різноманітності водних біологічних об'єктів залежить від стану навколишнього середовища, який характеризується порівняно невеликою кількістю абіотичних, тобто гідрометеорологічних та гідрохімічних факторів. Природне довкілля біологічних об'єктів більшу частину часу перебуває у стійкому стані, тобто у стані, коли абіотичні фактори плавно змінюються у кліматично зумовлених вузьких діапазонах. Такий стан середовища сприймається дослідниками як нормальний.

Однак найцікавіше для дослідників починається, коли значення деяких абіотичних факторів з природних або антропогенних причин виходять за межі нормальних діапазонів, а отже, набувають статусу аномальних. У питанні визначення меж між нормальними та аномальними значеннями інтереси гідробіологів, гідрометеорологів та гідрохіміків тісно співпадають.

Зв'язок зі Світовим океаном і одночасно значна відособленість від нього роблять Чорне море унікальною у самому прямому значенні цього слова водоймою на Землі. Але навіть на такому яскравому загальному тлі помітно виділяється його північно-за-

хідна частина (ПЗЧМ). Головним джерелом її різноманітності, багатства та проблем є річковий стік.

Річковий стік – це один з головних абіотичних факторів, який цікавить гідробіологів. Зазвичай його величина та аномалії безпосередньо використовуються для пояснення змін у життєдіяльності угруповань водних організмів.

Основною метою цієї статті є пропозиція та демонстрація працездатності простого методу визначення меж між нормальними та аномально великими, нормальними та аномально малими річними обсягами стоків Дунаю та Дніпра.

Друга мета – надати порівняльну характеристику річного перебігу місячних обсягів стоку. Необхідні для цього повторюваності за календарними місяцями отримані за допомогою запропонованого методу шляхом поділу кожної із сорока річних серій місячних обсягів стоку на багатоводну та маловодну частини.

Третя, хоч і побічна, але важлива мета – це створення посилання на метод поділу обсягів річкового стоку на три градації, який неодноразово використовувався (Minicheva, Bolshakov, and Zotov 2010; Minicheva et al. 2010; Мінічева та ін. 2018) та ймовірно використовуватиметься колегами-гідробіологами.

У західній науковій літературі для вивчення гідрологічного режиму річок і озер з кінця минулого століття широко використовується метод Індикаторів Гідрологічних Змін (ІНА) (Richter et al. 1996). Набирає він популярність і в Україні, однак, судячи з деяких статей (Горбачова та ін. 2021; Гуляєва, Усов 2022), цей метод використовує як вхідні дані щодобові витрати річок, яких автор не має.

У науковій літературі (Вишневський, Косовець 2003; Гидрология ... 2004; Гопченко, Романчук 2005; Давыдов, Дмитриева, Конкина 1973; Евстигнеев 1990; Клименко 2012; Михайлов, Добровольский 1991; Методические ... 2009; Рождественский, Лобанова 1984), яка прямо стосується згаданого питання, представлені визначення таких понять, як водопілля, повінь, паводок, межень, а ось рекомендації щодо визначення їх меж відсутні.

У «Гидрология ...» (2004) для різних років, залежно від обсягу стоку Дунаю, широко використовуються терміни «роки середньої водності», «багатоводні та маловодні роки», але теж не надаються критерії для визначення меж між ними.

У роботі В.М. Євстигнєєва (1990) пропонується ряд років, упорядкованих за величиною водного стоку, ділити на три рівні частини по межах забезпеченості 33 і 66 %. Це у загальному випадку, а за наявності довгих рядів спостережень, дає можливість виділяти додаткові градації: дуже маловодну, із забезпеченістю 90 % і дуже багатоводну, із забезпеченістю 16 %.

У кожній іншій роботі пропонуються свої критерії поділу рядів за обсягами стоку. Найскладнішою із розглянутих систем градацій є така (Рождественский, Лобанова 1984):

- багатоводна (ймовірність перевищення обсягу стоку 25 %);
- середня (ймовірність перевищення 50 %);
- маловодна (ймовірність перевищення 75 %);
- дуже маловодна (ймовірність перевищення 95 %);
- дуже багатоводна (ймовірність перевищення 5 %).

Наведені приклади чітко демонструють, що підходи визначення меж між градаціями стоку мають значну методологічну різницю і часто потерпають від суб'єктивного підходу дослідників, що звісно є значним недоліком.

У цій роботі пропонується простий спосіб об'єктивного поділу гідрометеорологічних рядів на три градації. Надалі за його допомогою проводиться детальне порівняння загальних та особливих у мінливості міжрічних та міжмісячних витрат двох головних річок басейну Чорного моря – Дунаю та Дніпра.

Матеріал та методи досліджень

Можливо, велика деталізація величини витрат води у річці не зайва і навіть необхідна, наприклад, у разі проєктування гідроспоруд. Але, як показує досвід, річкові витрати, як фактор впливу на біологічні процеси, досить поділяти на три градації: нормальні, аномально великі та аномально малі. У такій постановці завдання на перший план вимог до методу виходить об'єктивність такого поділу, яка виявляється в тому, що різні дослідники на тому самому матеріалі отримують один і той же результат.

У цій роботі для подолання зазначеного недоліку пропонується найпростіший метод, який передбачає, що межі між градаціями закладені у структурі самого досліджуваного ряду і визначаються через його два перші статистичні моменти – математичне очікування і дисперсію, а простіше – через його середнє значення і стандартне відхилення. Ті члени ряду, які відрізняються за величиною від середнього значення в той і в інший бік на стандартне відхилення і менше, вважаються нормальними. Тоді ті значення, які виходять за верхню межу інтервалу нормальних значень, природно вважаються аномально високими, а за нижню межу – аномально низькими.

Ця ідея вперше була апробована в рамках оцінки річних витрат Дунаю і показала свою працездатність, розділивши 32-річний ряд спостережень на 5 багатоводних років, 22 роки нормальних та 5 років маловодних. Надалі цей підхід був успішно застосований для виділення багатоводних та маловодних фаз річного ходу на річних серіях місячних витрат.

Результати та обговорення

Головний параметр, від якого залежить вплив річки на гідрологічні умови, біологію та екологічний стан басейну, що її приймає, це, звичайно, обсяг її стоку. Нижче на рисунку представлені обсяги річних витрат Дунаю та Дніпра за 40 років. Порівняння лінійних трендів показує, що упродовж цих років витрати обох річок мали тенденцію до зменшення, але з дуже різною швидкістю. Розрахунок за рівнянням лінійного тренду для Дунаю дає зменшення річкового стоку за 40 років на 2 км³, що становить близько 1 % від середнього за цей час річного стоку 201,7 км³. Такі ж розрахунки для Дніпра дають зменшення річних витрат за 40 років на 8,6 км³, що, при меншому в 5 разів обсягу стоку річки, 39,4 км³, означає скорочення витрат на 22 %.

Порівняння окремих ділянок графіків дозволяє припустити деяку узгодженість у зміні стоків двох річок. Це підтверджує і коефіцієнт кореляції між двома рядами, що дорівнює 0,46, і який з ймовірністю понад 99 % відкидає гіпотезу про їхню незалежність.

Цікаво, що коефіцієнт кореляції між рядами за ті ж 40 років, але місячних стоків, відрізняється від

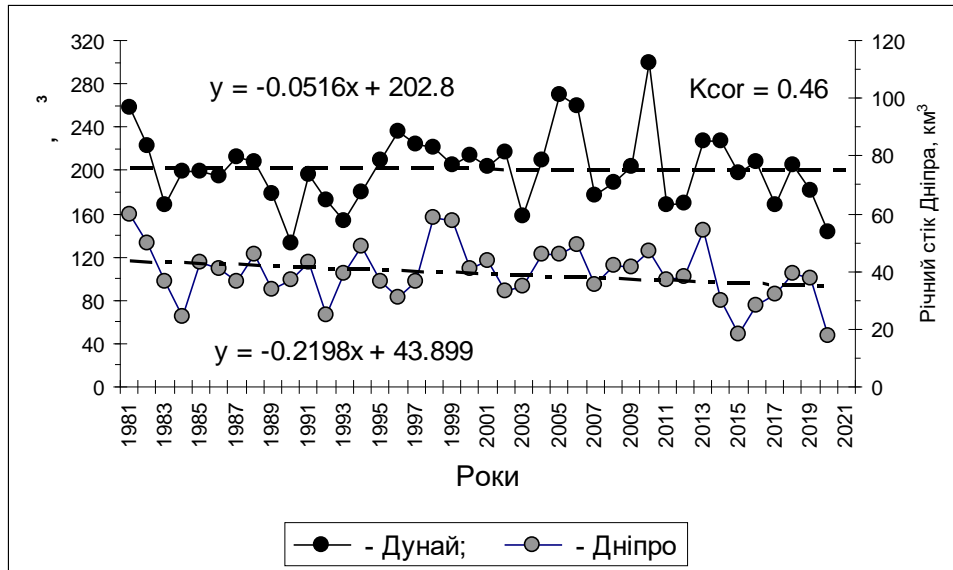


Рис. 1. Річні обсяги стоків річок Дунай та Дніпро за 1981–2020 роки

наведеного лише у четвертому десятковому знаку. А оскільки довжина рядів місячних витрат у 12 разів більша, ніж річних, то коефіцієнт кореляції між ними тим більше не нульовий з ймовірністю понад 99,99 %.

На рисунку 1 видно, що у ті 40 років, які розглядаються, екстремально високі річні обсяги стоку перевищують екстремально низькі на Дунаї більш ніж удвічі, а Дніпрі – втричі. Такі великі відмінності в обсягах стоку не можуть не відобразитися на гідрофізичних характеристиках та екологічних умовах узмор'я, особливо у північно-західній частині моря. А це обов'язково вимагатиме поділити роки за величиною стоку щонайменше на три класи: нормальні, багатоводні та маловодні.

Результати визначення описаним вище способом меж у ряді років із сильно мінливими обсягами річного стоку річок представлені у таблиці 1. У її лівій частині річні обсяги стоку обох річок представлені в хронологічному порядку, а в правій частині таблиці вони для кожної річки впорядковані за спаданням.

У таблиці темно-сірою заливкою з білими цифрами виділено інформацію, що відноситься до багатоводних років, світло-сірою – до маловодних. З неї випливає, що з 1981 по 2020 рік на Дунаї було 5 багатоводних та 4 маловодних роки, а на Дніпрі – тих та інших було на одиницю більше. Спільним для обох річок серед багатоводних років виявився лише один – 1981 рік, а серед маловодних – також тільки один – 2020 рік.

В узагальненому вигляді можна сказати, що три чверті років мали нормальні витрати, а чверть приблизно порівну розділилася між екстремально великими і екстремально малими.

Так само як і в розглянутих рядах річних обсягів стоку, місячні обсяги стоку у річному ході можуть бути високими (водопілля, паводок), низькими (межень), а також мати деякі проміжні нормальні значення, тобто вони також вимагають об'єктивного поділу на три градації.

Для перевірки можливості застосування того ж методу поділу на три градації коротких рядів, усього по 12 значень, він був використаний для середньомісячних витрат спочатку для всього вибраного 40-річного ряду, а потім для двох його 30-річних (1981–2010 та 1991–2020 рр.) частин, за якими, за стандартними гідрометеорологічними правилами, обчислюються кліматичні норми. У всіх трьох випадках результати виділення місяців водопілля та межени були однаковими і це є підстава називати ці місяці місяцями кліматичного водопілля і кліматичної межени, або кліматичними місяцями водопілля і межени (табл. 2).

У повних рядках таблиці представлені середньомісячні за 40 років значення обсягів стоку Дунаю та Дніпра. За ними розраховані середньорічні значення та середні квадратичні відхилення (СКВ) і вони представлені у двох перших осередках коротких строк таблиці. За ними у третій осередках таблиці розташовані суми двох перших, а в четвертих осередках – їх різниці і це, по суті, є межі між середніми та екстремально великими обсягами витрат під час водопілля або паводків, а також між середніми та екстремально малими обсягами витрат під час межени.

На цій підставі квітень та травень на обох річках можна і слід вважати місяцями кліматичного весняного водопілля. Що стосується місяців

Таблиця 1

Результати виділення багатоводних і маловодних років за річними обсягами стоку (км³) річок Дунай та Дніпро

Дунай			Дніпро			Дунай			Дніпро		
Ранг	Рік	Обсяги стоку, км ³	Рік	Ранг	Ранг	Рік	Обсяги стоку, км ³	Рік	Ранг		
1	1981	258,7	59,80	1981	1	1	2010	299,4	59,80	1981	1
2	1982	222,8	49,76	1982	2	2	2005	269,4	58,41	1998	2
3	1983	168,8	36,73	1983	3	3	2006	260,1	57,27	1999	3
4	1984	199,3	24,53	1984	4	4	1981	258,7	54,44	2013	4
5	1985	199,6	43,05	1985	5	5	1996	236,5	49,76	1982	5
6	1986	194,0	40,94	1986	6	6	2014	227,3	49,29	2006	6
7	1987	212,7	36,43	1987	7	7	2013	227,0	48,63	1994	7
8	1988	207,2	45,80	1988	8	8	1997	224,5	47,12	2010	8
9	1989	178,4	33,95	1989	9	9	1982	222,8	46,03	2005	9
10	1990	132,5	36,94	1990	10	10	1998	221,3	45,94	2004	10
11	1991	196,0	43,14	1991	11	11	2002	216,9	45,80	1988	11
12	1992	172,2	24,88	1992	12	12	2000	214,1	43,53	2001	12
13	1993	153,7	39,09	1993	13	13	1987	212,7	43,14	1991	13
14	1994	180,5	48,63	1994	14	14	2004	209,7	43,05	1985	14
15	1995	209,6	36,30	1995	15	15	1995	209,6	42,11	2008	15
16	1996	236,5	31,23	1996	16	16	2016	208,6	41,52	2009	16
17	1997	224,5	36,52	1997	17	17	1988	207,2	40,94	1986	17
18	1998	221,3	58,41	1998	18	18	2018	205,7	40,81	2000	18
19	1999	205,1	57,27	1999	19	19	1999	205,1	39,22	2018	19
20	2000	214,1	40,81	2000	20	20	2009	204,0	39,09	1993	20
21	2001	203,3	43,53	2001	21	21	2001	203,3	38,30	2012	21
22	2002	216,9	33,20	2002	22	22	1985	199,6	37,50	2019	22
23	2003	158,1	34,62	2003	23	23	1984	199,3	36,94	1990	23
24	2004	209,7	45,94	2004	24	24	2015	197,8	36,89	2011	24
25	2005	269,4	46,03	2005	25	25	1991	196,0	36,73	1983	25
26	2006	260,1	49,29	2006	26	26	1986	194,0	36,52	1997	26
27	2007	176,5	35,27	2007	27	27	2008	188,5	36,43	1987	27
28	2008	188,5	42,11	2008	28	28	2019	181,5	36,30	1995	28
29	2009	204,0	41,52	2009	29	29	1994	180,5	35,27	2007	29
30	2010	299,4	47,12	2010	30	30	1989	178,4	34,62	2003	30
31	2011	168,3	36,89	2011	31	31	2007	176,5	33,95	1989	31
32	2012	169,7	38,30	2012	32	32	1992	172,2	33,20	2002	32
33	2013	227,0	54,44	2013	33	33	2012	169,7	32,19	2017	33
34	2014	227,3	30,02	2014	34	34	1983	168,8	31,23	1996	34
35	2015	197,8	18,18	2015	35	35	2011	168,3	30,02	2014	35
36	2016	208,6	28,27	2016	36	36	2017	167,8	28,27	2016	36
37	2017	167,8	32,19	2017	37	37	2003	158,1	24,88	1992	37
38	2018	205,7	39,22	2018	38	38	1993	153,7	24,53	1984	38
39	2019	181,5	37,50	2019	39	39	2020	142,4	18,18	2015	39
40	2020	142,4	17,83	2020	40	40	1990	132,5	17,83	2020	40

	Дунай	Дніпро
Середньорічні обсяги стоку:	201,7	39,4
Стандартне відхилення:	34,1	9,7
Середнє + стандартне відхил.:		49,1
Середнє – стандартне відхил.:	167,6	29,7

кліматичної межені, то вони на кожній річці свої: на Дунаї це вересень та жовтень, а на Дніпрі – липень, серпень та вересень.

Для порівняння з цими кліматичними еталонами фактичної внутрішньорічної мінливості витрат води для кожної з річок тим же представленим

тут способом за 12 місячними обсягами кожного з 40 років були визначені багатоводні місяці, тобто з обсягами стоку вище за верхню межу, та маловодні місяці, тобто з обсягами стоку нижче за нижню межу. Повторюваності за календарними місяцями за всі 40 років місяців з високими (рівня водопілля)

Таблиця 2

**Виділення за середньомісячними з 1981 по 2020 рік обсягами стоку (км³)
Дунаю та Дніпра кліматичних місяців водопілля та межні**

Дунай	Місяці											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Середні за 1981–2020 рр.	16,96	15,68	20,39	23,76	22,89	19,74	16,41	13,26	11,59	12,52	13,07	15,48
									Сер. міс.	СКВ	Сума +СКВ	Сума -СКВ
									16,81	4,07	20,88	12,74
Дніпро	Місяці											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Середні за 1981–2020 рр.	3,49	3,59	4,09	4,18	4,67	3,22	2,33	1,91	1,93	2,74	3,55	3,70
									Сер. міс.	СКВ	Сума +СКВ	Сума -СКВ
									3,28	0,89	4,17	2,39

Примітка: темно-сірим кольором та білими цифрами виділені багатоводні місяці кліматичного водопілля та нижня межа їх стоку, світло-сірим – маловодні місяці кліматичної межні та верхня межа їх стоку.

Таблиця 3

Кількість випадків високих (водопілля, паводок) та низьких (межень) місячних обсягів стоку (км³) річок Дунай та Дніпро за 1981–2020 рр.

Дунай												
Місяці:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Багатоводні	5	2	10	24	23	10	2	2	0	0	3	3
Маловодні	3	5	0	0	0	0	3	13	21	15	14	4
Дніпро												
Місяці:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Багатоводні	8	8	13	17	19	1	0	0	0	1	7	9
Маловодні	2	2	2	5	1	4	12	23	23	4	0	0

Примітка: повторюваності великих і малих обсягів стоку, які помітно перевищують середній рівень, виділені сірою заливкою, причому в місяці кліматичного водопілля та кліматичної межні темнішою.

та місяців з низькими (рівня межні) обсягами стоку наведено у таблиці 3.

Сумарна кількість представлених у таблиці 3 багатоводних і маловодних місяців надзвичайно близька: 162 – для Дунаю і 161 – для Дніпра, що становить 33,8 % і 33,6 % від максимально можливої кількості 480 місяців. Тобто дві третини місяців мали нормальні, а третина аномальні, високі чи низькі обсяги стоку. Багатоводні місяці на Дунаї становили 84 випадки (17,5 %), а на Дніпрі 83 випадки (17,3 %). Аналогічні значення для маловодних місяців обох річок взагалі виявилися однаковими, по 78 випадків (по 16,3 %).

Найвищі повторюваності багатоводних і маловодних місяців, як і слід очікувати, припадають на виділені вище місяці кліматичного водопілля і кліматичної межні. Однак до них логічно додати ще кілька місяців з високими двозначними величинами повторюваностей (табл. 3). Серед них на Дунаї це по одному місяцю, який передус кліматичному водопіллю і кліматичній межні, і по одному місяцю, які слідує за ними. Перші слід розглядати як ранні водопілля та межень, а другі як затяжні або із запізненням. На Дніпрі порівняти

з кліматичними можна лише повторюваність раннього водопілля у березні.

На Дунаї з цими уточненнями за 40 років з 84 багатоводних місяців на чотири календарні місяці водопілля або весняної повені, з березня по червень, припало 67 (близько 80 %) випадків, тобто у середньому близько 17 на місяць. Для порівняння, на кожний з інших 8 календарних місяців також у середньому припадало трохи більше 2 випадків.

Щодо маловодних місяців на Дунаї, то із 78 випадків на чотири календарні місяці потенційної межні, із серпня по листопад, припало 63 випадки (близько 81 %). Таким чином, у середньому на кожен календарний місяць меженого періоду припадало близько 16, а поза ним теж по 2 випадки.

Найвищі повторюваності багатоводних місяців на Дніпрі (табл. 3) припадають на виділені вище місяці кліматичного водопілля – квітень, травень та доданий до них березень як місяць ранньої весняної повені. Із загальної кількості 83 багатоводних місяців на ці три місяці припало 49 випадків (59 %).

Що стосується маловодних місяців на Дніпрі, то із загальної кількості 78 випадків на три місяці

кліматичної межені – липень, серпень, вересень – припало 58 (74 %).

Таким чином, статистика показує, що повторюваності багатоводних та маловодних місяців (80 та 81 % на Дунаї і 59 та 58 % на Дніпрі) на кожній річці дуже близькі між собою та сильно, майже на 40 %, різняться між річками. Швидше за все причиною такої асиметрії є сильніше зарегулювання стоку Дніпра, яке, «зрізуючи» максимуми та підживлюючи мінімуми, робить річний хід місячних обсягів стоку річки більш рівномірним.

На прикладі Дунаю можна відзначити дві закономірності (табл. 3). Перша: за 40 років у чотири календарні місяці потенційного весняного водопілля не було жодного маловодного місяця з обсягом стоку, характерному за величиною для межені. Друга: у місяцях кліматичної межені, вересні та жовтні, навпаки, не було жодного випадку, щоб дощові паводки створили місячну аномалію обсягу стоку рівня водопілля. Кожна з цих закономірностей виглядає природною, а тому стік на Дунаї є відносно слабо зарегульований.

На Дніпрі має місце тільки друга закономірність для трьох межених місяців – липня, серпня, вересня. У всіх інших календарних місяцях багатоводні та маловодні місяці «уживаються» один з одним без особливих закономірностей, крім хіба що відсутності маловодних місяців пізньої осені, у листопаді та грудні.

Відмінності, зазначені у кількох попередніх абзацах, наводять на думку про різний ступінь зарегулюваності стоку двох річок, хоча після завершення у 1975 р. будівництва Канівської ГЕС на Дніпрі та греблі Джердап 2 на Дунаї у 1984 р. стік обох річок вважається фактично зарегульованим (Гидрологія ... 2004).

Порівняємо, однак, річні витрати річок з обсягами водосховищ на кожній з них. На Дніпрі шість

водосховищ загальним обсягом 43,8 км³ містять у собі 110 % середньорічного за 1981–2020 рр. стоку річки, що дорівнює 39,4 км³.

На Дунаї та на його притоках є близько 70 водоймищ (Гидрологія ... 2004), проте обсяги лише двох із них перевищують кубічний кілометр. Це Джердап 1 та Джердап 2 (відповідно 5 та 2 км³). Сумарний обсяг решти водосховищ, найбільше з яких Габчиково (190 млн м³), додає лише близько 1 км³. Сумарні 8 км³ становлять менше 5 % від середнього за ті ж роки обсягу стоку 201,7 км³. Ці 110 % та 5 % дають ясне уявлення про можливість штучного регулювання стоку на Дніпрі та на Дунаї.

З регулюванням стоку, можливо, пов'язана ще одна відмінність у річному ході місячних обсягів стоку Дунаю та Дніпра. Якщо багатоводний місяць хоча б один був на обох річках і в кожному з 40 років, то маловодний, тобто з обсягом стоку нижче визначеної описаним методом межі межені, був відсутній на Дунаї лише одного разу, а на Дніпрі п'ять разів. На Дунаї це сталося у маловодному 1993 році, а на Дніпрі – у 1983, 1984, 1992, 2015 та у 2019 роках, з яких крайні у цьому списку роки були нормальні, а три середні теж маловодні.

Можна припустити, що такий перекис у бік Дніпра – це наслідок штучного вирівнювання витрат води, яке потрібно гідроелектростанціям і яке забезпечується шістьма греблями та шістьма водосховищами. Цю гіпотезу підтримує експеримент, представлений у таблиці 4.

Як і в таблиці 2, у повних рядках надані значення місячних витрат, а в укорочених рядках обчислені за ними параметри в такому порядку: річна сума місячних обсягів стоку, їхнє середнє значення, потім в осередку без заливки їхнє стандартне відхилення, потім нижня межа багатоводних та верхня межа маловодних місяців.

Таблиця 4

Місячні обсяги стоку та їх річна сума на р. Дніпро (Нова Каховка) у 2000 році (вплив на межень скидання води з водосховища (числовий експеримент))

Вхідні дані за 2000 рік												
Місяць												Річна сума
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
3,96	2,64	4,31	3,42	4,74	4,38	1,78	2,22	2,12	3,11	3,53	4,61	40,81
							40,81	3,40	1,03	4,43	2,37	
Попуск з водосховища, куб. км:						1	1	1				
3,96	2,64	4,31	3,42	4,74	4,38	2,78	3,22	3,12	3,11	3,53	4,61	43,81
							43,81	3,65	0,73	4,38	2,93	
Попуск з водосховища куб. км:						2	1	1				
3,96	2,64	4,31	3,42	4,74	4,38	3,78	3,22	3,12	3,11	3,53	4,61	44,81
							44,81	3,73	0,67	4,41	3,06	

Примітка: темно-сірим кольором виділені багатоводні місяці водопілля та нижня межа їх стоку, а світло-сірим – маловодні місяці межені та верхня межа їх стоку.

Наведений у таблиці 4 2000 р. відібраний з 40 років як рік з майже ідеальним кліматичним річним ходом місячних обсягів стоку. Його річний стік лише на 2 % більше середнього за 40 років, а межень посідає суворо визначені для неї місяці – липень, серпень і вересень. Єдине відхилення від кліматичного річного ходу полягає в тому, що стік у квітні, хоча, як і належить, великий, але, на відміну від травневого обсягу стоку, трохи не дотягує до рівня водопілля.

У першій парі рядків таблиці 4 надані місячні витрати, які фактично спостерігалися, та розраховані за ними параметри.

У другій парі рядків відображені зміни всіх параметрів, які відбулися б, якби в кожному з трьох місяців межені були б додаткові попуски води з водосховища по 1 км^3 . Природно, що внаслідок цього річний стік збільшився на 3 км^3 , а середньомісячний на $1/12$ частину цієї величини, тобто на $0,25 \text{ км}^3$. Стандартне відхилення природно зменшилося, оскільки три найменших члени ряду були штучно збільшені. У підсумку місячні витрати за серпень і вересень перевищили навіть новий межений рівень, який зріс з $2,37$ до $2,93 \text{ км}^3 \cdot \text{міс.}^{-1}$ і стік нижче за нього зберігся лише в липні.

У третій парі рядків таблиці 4 відображені зміни всіх параметрів, які відбулися, якби у серпні та вересні додаткові попуски залишилися на колишньому рівні 1 км^3 , а в липні додатковий попуск води був би збільшений з 1 до 2 км^3 . Внаслідок цього місячні витрати нижче межі меженого рівня, яка ще піднялася до $3,06 \text{ км}^3 \cdot \text{міс.}^{-1}$, з річного ходу зникли.

Таким чином, описаний числовий експеримент показує, що штучне на користь енергетики вирівнювання стоку може помітно впливати на мінливість річного ходу витрат та стати причиною відсутності витрат меженого рівня.

Висновки

1. Запропоновано метод, що дозволяє за двома першими статистичними моментами ряду спостережень річних витрат річки об'єктивно виділяти роки

з нормальними, екстремально великими та екстремально малими обсягами стоку.

2. Застосування цього методу до 40-річних (1981–2020 рр.) рядів спостережень річних обсягів стоку Дунаю та Дніпра показало, що на кожній з річок за цим параметром близько 75 % років слід вважати нормальними, а решта, приблизно порівну, діляться між багатоводними та маловодними.

3. Застосування того ж методу до серії з 12 значень місячних витрат річок, усереднених за 40 років, дозволило виділити місяці кліматичного водопілля та місяці кліматичної межені. Місяці кліматичного водопілля на обох річках однакові, і це квітень та травень, а місяці кліматичної межені різні: на Дунаї їх два – вересень та жовтень, а на Дніпрі три – липень, серпень та вересень.

4. З'ясувалося, що на Дунаї у березні та червні повторюваності високих, а у серпні та листопаді повторюваності низьких витрат значно перевищують середній річний рівень. На цій основі за рахунок зазначених місяців можна розширити часові межі понять весняної повені та осінньої межені з двох до чотирьох місяців. На Дніпрі подібне розширення можна зробити лише для весняної повені і лише за рахунок одного місяця – березня.

5. На Дніпрі виявлено 5 років проти одного на Дунаї, в які не було виявлено жодної місячної витрати води, досить низької, щоб її можна було віднести до межені. Проведений числовий експеримент показав, що така асиметрія може бути наслідком додаткових попусків води з водосховища.

6. Цю та деякі інші відмінності у статистиці розподілу багатоводних та маловодних місяців на Дунаї та Дніпрі можна пояснити різною можливістю антропогенного управління їх витратами. Цю можливість можна охарактеризувати чисельно відношенням суми обсягів рукотворних водосховищ до середньорічної витрати річки. Для Дунаю ця величина дорівнює 5 %, для Дніпра – 110 %.

Список використаних джерел

1. Вишневський В.І., Косовець О.О. Гідрологічні характеристики річок України. Київ : Наука-Центр, 2003. 324 с.
2. Гідрологія дельти Дуная / под ред. В.Н. Михайлова. М. : ГЕОС, 2004. 448 с.
3. Гопченко Е.Д., Романчук М.Е. Нормирование характеристик максимального стока весеннего половодья на реках Причерноморской низменности. Киев : КНТ, 2005. 149 с.
4. Горбачова Л.О., Приходькіна В.С., Христюк Б.Ф., Заболотня Т.О., Розлач В.О. Статистичний аналіз максимального стоку води річки Південний Буг за методом «Indicators of Hydrologic Alteration». *Український гідрометеорологічний журнал*. 2021. 27. С. 42–54.

5. Гуляєва О.О., Усов О.Є. Оцінка зміненого гідрологічного режиму Дністра як основа для визначення параметрів екологічного стоку. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2022. № 4(66). С. 47–58.
6. Давыдов Л.К., Дмитриева А.А., Конкина Н.Г. Общая гидрология. Л. : Гидрометеоздат, 1973. 462 с.
7. Евстигнеев В.М. Речной сток и гидрологические расчеты. М. : Изд-во Московского университета, 1990. 304 с.
8. Клименко В.Г. Загальна гідрологія : навчальний посібник для студентів. Харків : ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2012. 254 с.
9. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при отсут-

ствии данных гидрометрических наблюдений. С.-П. : Нестор-История, 2009. 193 с.

10. Миничева Г.Г., Большаков В.Н., Калашник Е.С., Зотов А.Б., Маринец А.В. Оценка реакций альгосообществ черноморских экосистем на воздействие климатических факторов. *Альгология*. 2018. 28 (2). С. 121–135.

11. Михайлов В.Н., Добровольский А.Д. Общая гидрология. М. : Высшая школа, 1991. 368 с.

12. Рождественский А.В., Лобанова А.Г. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Л. : Гидрометиздат, 1984. 447 с.

13. Minicheva G.G., Bolshakov V.N., Zotov A.B. The response of autotrophic communities of the north-

western Black Sea to the variability of climatic factors. *Journal of Environmental Protection and Ecology*. 2010. 11. С. 1046–1054.

14. Minicheva G.G., Bolshakov V.N., Zotov A.B., Marinets A.V., Rusnak E.M., Khomova E.S. The resistance of autotrophic communities in the northwestern Black Sea to the climatic change. *International conference "Global and regional climate changes"* : abstracts, Kyiv, 16–19 November 2010. Kyiv, 2010. P. 81–82.

15. Richter B.D., Baumgartner J.V., Powell J., Braun D.P. A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. *Conservation Biology*. 1996. 10(4). С. 1163–1174.

References

1. Vyshnevs'kyu, V.I., & Kosovets', O.O. (2003). *Hidrolohichni kharakterystyky richok Ukrainy [Hydrological characteristics of rivers of Ukraine]*. Kyiv: Nauka-Center [in Ukrainian].

2. Mikhailov, V.N. (Eds.). (2004). *Hidrolohiya del'ny Dunayu [Hydrology of the Danube Delta]*. M.: GEOS [in Russian].

3. Hopenchenko, O.D., & Romanchuk, M.E. (2005). *Normirovaniye kharakteristik maksimal'nogo stoka vesennego polovod'ya na rekakh Prichernomorskoj nizmennosti [Rationing of the characteristics of the maximum runoff of the spring flood on the rivers of the Black Sea Lowland]*. Kyiv: KNT [in Russian].

4. Gorbachova, L.O., Prykhodkina, V.S., Khrystiuk, B.F., Zabolotnia, T.O., & Rozlach, V.O. (2021). Statystychnyy analiz maksimal'nogo stoku vody richky Pivdennyi Buh za metodom "Indicators of Hydrologic Alteration" [Statistical analysis of maximum run off of the Southern Buh river using the method of indicators of hydrologic alteration]. *Ukrainian hydrometeorological journal – Ukrainian hydrometeorological journal*, 27, 42–54 [in Ukrainian].

5. Huliaieva, O.O., & Usov, O.Ye. Otsinka zminenoho hidrolohichnoho rezhymu Dnistra yak osnova dlya vyznachennya parametriv ekolohichnoho stoku – Analysis of altered hydrological regime of the Dniester river as basic for ecological flows assessment. *Hidrolohiya, hidrokhimiya i hidroekolohiya – Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology*, 4(66), 47–58 [in Ukrainian].

6. Davydov, L.K., Dmytriyeva, A.A., & Konkina, N.H. (1973). *Obshchaya gidrologiya [General Hydrology]*. L.: Hydrometeoizdat [in Russian].

7. Yevstyhnyeyev, V.M. (1990). *Rechnoy stok i gidrologicheskiye raschety [River flow and hydrological calculations]*. M.: Moscow State University Press [in Russian].

8. Klymenko, V.H. (2012). *Zahal'na hidrololohiya: navchal'nyy posibnyk [General hydrology: Study guide]*. Kharkiv: KHNU imeni V.N. Karazina [in Ukrainian].

9. *Metodicheskiye rekomendatsii po opredeleniyu raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik pri otsutstvii dannykh gidrometricheskikh nablyudeniy [Methodological recommendations for determining calculated hydrological characteristics in the absence of hydrometric observation data]*. (2009). S.-P.: Nestor-Istoriya [in Russian].

10. Minicheva, G.G., Bol'shakov, V.N., Kalashnik, Ye.S., Zotov, A.B., & Marinets, A.V. (2018). Otsenka reaktsiy al'gosoobshchestv chernomorskikh ekosistem na vozdeystviye klimaticheskikh faktorov [Assessment of the reactions of algal communities to influence of climatic factors in the Black Sea ecosystem]. *Al'gologiya – Algologia*, 28 (2), 121–135 [in Russian].

11. Mykhaylov, V.M., & Dobrovols'kyu, A.D. (1991). *Obshchaya gidrologiya [General Hydrology]*. M.: Vysshaya Shkola [in Russian].

12. Rozhdestvenskiy, A.V., & Lobanova, A.G. (1984). *Posobiye po opredeleniyu raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik [River flow and hydrological calculations]*. L.: Gidrometizdat [in Russian].

13. Minicheva, G.G., Bolshakov, V.N., & Zotov, A.B. (2010). The response of autotrophic communities of the north-western Black Sea to the variability of climatic factors. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 11, 1046–1054.

14. Minicheva, G.G., Bolshakov, V.N., Zotov, A.B., Marinets, A.V., Rusnak, E.M., & Khomova, E.S. (2010). The resistance of autotrophic communities in the north-western Black Sea to the climatic change. Proceedings from: International conference "Global and regional climate changes". Pp. 81–82. Kyiv.

15. Richter, B.D., Baumgartner, J.V., Powell, J. & Braun, D.P. (1996). A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. *Conservation Biology*, 10(4), 1163–1174.

METHOD FOR IDENTIFICATION OF EXTREME ANNUAL AND MONTHLY VOLUME OF RIVERS FLOW USING THE EXAMPLE OF THE DANUBE AND DNIEPER RIVER

Bolshakov V.M., PhD, Senior Researcher

Ukrainian scientific centre of ecology of the sea, vbolshakov@ua.fm

Normal, high-water and low-water years are concepts that are widely used to characterize marine areas influenced by river flow. Understanding the hydrobiological processes of the sea depends on information about the volume of river water. In connection with this, a method for dividing river flow volumes into three gradations: normal, extremely high and extremely low is proposed. The boundaries between gradations are determined by the statistical properties of the analyzed series itself. Therefore, the boundaries are absolutely objective, that is, they completely exclude the role of the subjective factor of the researcher. In addition, the method is extremely simple.

This method also turned out to be useful for identifying high-water (spring flood) and low-water (low-water) phases of the annual cycle of monthly flow volumes of the Danube and Dnieper. The fairly long and fairly modern observation series for 1981–2020 were used. This allows us to consider the months selected by our method as climatically determined high-water and low-water phases.

The months of the high-water phase turned out to be the same for the Danube and Dnieper, but the months of the low-water phase, and even their number, were different. Comparison of monthly river flows in a particular year with the climatic standard makes obvious cases of early onset or delayed completion of the phases of the annual cycle. Wet months beyond the spring flood are associated with large amount of intense precipitation.

Using a numerical experiment and using the proposed method, a possible reason for the absence of low water on the Dnieper in some years is shown. In other words, the absence of low water is the absence of such low monthly flow volumes that would be below the upper limit of low water.

This and some other differences in the annual cycle of monthly flows of the Danube and Dnieper are most likely associated with a very large difference in the degree of regulation of their expenses. As a measure of the regulation of river flow, we can take the ratio of the sum of the volumes of reservoirs that affect its flow to the annual average volume of river flow below the reservoirs. This measure, expressed as a percentage, is equal to 5 % for the Danube, and 110 % for the Dnieper.

Key words: Danube, Dnieper, flow, spring flood, flood, low water, reservoir, flow regulation.