ЗАГАЛЬНА ГІДРОБІОЛОГІЯ

УДК 574.587.(282.243.7)

А.В. ЛЯШЕНКО, д. б. н., ст. наук. співроб., пров. наук. співроб.,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Володимира Івасюка, 12, Київ, 04210, Україна
e-mail: ArtemLyashenko@bigmir.net
ORCID 0000-0003-0028-4974

В.І. ЩЕРБАК, д. б. н., проф., пров. наук. співроб.,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Володимира Івасюка, 12, Київ, 04210, Україна
e-mail: ek424nat@ukr.net
ORCID 0000-0002-1237-6465

Н.Є. СЕМЕНЮК, д. б. н., ст. досл., ст. наук. співроб.,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Володимира Івасюка, 12, Київ, 04210, Україна
e-mail: natasemenyuk@gmail.com
ORCID 0000-0003-4447-3507

К.Є. ЗОРІНА-САХАРОВА, к. б. н., ст. наук. співроб.
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Володимира Івасюка, 12, Київ, 04210, Україна
e-mail: katerynazorinasakharova@gmail.com
ORCID 0000-0001-6159-2642

КОНТИНУАЛЬНІСТЬ І ДИСКРЕТНІСТЬ УГРУПОВАНЬ ГІДРОБІОНТІВ У ЛОТИЧНО-ЛЕНТИЧНІЙ ГІДРОЕКОСИСТЕМІ ДЕЛЬТИ ДУНАЮ: ДОННІ БЕЗХРЕБЕТНІ[1]

Запропоновано визначення дискретності та континуальності структурно-функціональних характеристик річкових систем за допомогою статистичних тестів множинного порівняння. За результатами багаторічних досліджень гідролого-гідрохімічних показників, видового складу та кількісних характеристик донних безхребетних розглянуто прояви дискретності та континуальності їхнього просторового розподілу в лотично-лентичній системі Кілійської дельти Дунаю. Встановлено континуальність як абіотичних, так і біотичних показників, її порушення відмічено на передньому краю дельти, в місцях нестабільного гідрологічного та гідрохімічного режиму. Ключовими чинниками формування структури донних без-

[1] Роботу виконано за рахунок бюджетної програми «Підтримка розвитку пріоритетних напрямів наукових досліджень (КПКВК 6541230)».

Цитування: Ляшенко А.В., Щербак В.І., Семенюк Н.Є., Зоріна-Сахарова К.Є. Континуальність і дискретність угруповань гідробіонтів у лотично-лентичній гідроекосистемі дельти Дунаю: донні безхребетні. *Гідробіол. журн.* 2024. Т. 60, № 1. С. 3—26.

хребетних визначено солоність вод та походження (штучне або природне) водних об'єктів.

Ключові слова: *множинне порівняння, природні та штучні водні об'єкти, подібність, солоність вод.*

Сьогодні організацію екосистем річок описують за допомогою декількох концепцій, дві з яких, на наш погляд, можна вважати основними: концепцію річкового континуума [40] (КРК) та концепцію динаміки плям/осередків (КДП/О) [39]. Крім того, для річок, русло яких зазнало антропогенних змін, розроблено концепцію серійної неконтинуальності [41] та концепцію континууму каскадних водосховищ [11]. Відзначимо, що ці концепції мало стосуються дельт великих річок, до того ж їхнє застосування стосовно біоти дельти Дунаю не проводилось. Разом з тим, остання (дельта Дунаю) завдяки збереженню недоторканності природних характеристик, складній гідрологічній структурі, переплетенню різнотипних біотопів і їхніх біоценозів являє собою потужну природну лабораторію. Це надає унікальні можливості для вивчення широкого кола фундаментальних та прикладних питань сучасної гідроекології, в тому числі й можливості застосування річкових концепцій для визначення закономірностей функціонування та формування структури водних екосистем дельт загалом та їхніх складових (різнотипні біоценози, біотичні угруповання тощо) зокрема.

Зазначені концепції базуються на визначенні (перевазі) континуальності (КРК) та дискретності (КДП/О) стосовно структурно-функціональних характеристик річкових екосистем, оцінці характеру їхніх змін від витоків до пониззя. Дельта Дунаю, друга за величиною дельта Європи, невелика, відносно усієї довжини, частина річки, складається з безлічі лотично-лентичних гідроекосистем, забезпечуючи мозаїку різнотипних біотопів та їхніх біоценозів. Певну роль тут відіграють і штучні водні об'єкти (канали, єрики, запруди тощо). Зокрема, це іригаційний канал Дунай — Сасик (КДС) та штучно модифікований у водосховище наприкінці 70-х — на початку 80-х років минулого сторіччя морський лиман Сасик. Складна гідрологічна система дельти, переплетіння водойм і водотоків, різновиди біотопів породжують високе різноманіття біологічних систем різного рівня організації. Визначення їхньої побудови, значущості біотичних та абіотичних чинників у формуванні цілісності із застосуванням концепцій континуальності та дискретності є одним з аспектів нашої роботи. Власне, це продовження досліджень, спрямованих на пізнання організації біоти різних трофічних рівнів та екологічних груп Кілійської дельти Дунаю, а також встановлення об'єктивності існування їхніх угруповань, визначення меж та перехідних зон, взаємозв'язків, ієрархії організації, основних чинників, що підтримують (чи то, навпаки, порушують) їхню цілісність [22, 23, 27, 28, 36].

У попередній статті [35] були розглянуті закономірності формування континуальності та дискретності фітопланктону в лотично-лентичній гідроекосистемі «рукави Кілійської дельти Дунаю — КДС — Сасицьке во-

досховище» в осінньо-зимовий період. Мета цієї роботи: за аналізом результатів багаторічних досліджень встановити прояви континуальності та дискретності просторового розподілу абіотичних показників та біотичних характеристик донних безхребетних в різнотипних водних екосистемах Кілійської дельти Дунаю.

Матеріал і методика досліджень

Інформація про характеристики станцій відбору проб, водні екосистеми, досліджені впродовж 2009—2020 рр., частково наведена раніше [35]. В цій роботі використані дані за 2009—2012 рр. спостережень. Для окремих станцій обрані по три роки, де дослідження охоплюють цілий вегетаційний сезон (весна, літо, осінь) (табл. 1, рис. 1). Результати, отримані на кількох станціях певного водного об'єкту, об'єднані та усереднені в межах сезону та року досліджень, тобто для аналізу залучені середньорічні вибірки (сукупності) за три роки окремих характеристик водних об'єктів з відповідною статистичною обробкою.

Аналізуючи прояви дискретності та континуальності показників, крім загального пулу станцій (див. рис. 1), ми провели також дослідження вздовж чотирьох окремих потоків річкових вод: 1) від рук. Кілійський через КДС до Сасицького водосховища; 2) через рук. Очаківський в затоки Делюків Кут та Потапів Кут; 3) через рукави Старостамбульський та Бистрий в підхідний канал глибоководного суднового ходу (ПК ГСХ) та зат. Бистрий Кут; 4) через рукави Старостамбульський та Восточний до зат. Ананькін Кут.

Приймаючи відносність континуальності та дискретності процесів і явищ [8, 10, 17, 31], ми розуміємо континуальність як безперервність, або спільність, певних характеристик в просторі та часі, а дискретність — як їхню перервність, або роздільність, неподібність, у вибраній мірі. При цьому міра спільності не є загально визнаною, загалом її обирає дослідник [31]. Дискретними ми вважаємо показники, значення яких достовірно відрізняються (на обраному рівні), а континуальними, навпаки, ті, які достовірної різниці не мають. Оцінка ознак дискретності та континуальності лотично-лентичної гідроекосистеми української частини дельти Кілійського рукава проведена за абіотичними (солоність, pH, температура, концентрація кисню у воді) та біотичними (кількість видів, чисельність, біомаса, індекс Шеннона) показниками, а також на основі аналізу подібності домінуючих комплексів видів.

Визначення приналежності показників на різних станціях до одного континууму виконано за допомогою статистичних тестів множинного порівняння. Для кількісних показників та індексу Шеннона був використаний критерий Краскела — Уолліса [18], який є багатовимірним узагальненням U-критерію Манна — Уітні [29] і перевіряє нульову гіпотезу походження обраних вибірок із сукупностей з однаковими значеннями медіани (або, за умови однакового типу розподілу вибірок, з однаковими середніми значеннями). Якщо загальний рівень значущості $p>0{,}05$, то вибірки походять з сукупностей з однаковими середніми (або медіанами)

і не відрізняються між собою, якщо $p<0,05$, то з вірогідністю 95,0 % — це вибірки з різних сукупностей. В останньому випадку для визначення, які саме з вибірок відрізняються, було проведено попарне їх порівняння за

Таблиця 1

Перелік водних об'єктів, станцій та періодів досліджень

Типи водних об'єктів	Водні об'єкти	Станції	Роки досліджень
Природні водотоки (рукави)	рук. Кілійський	— в межах м. Вилкове	2009—2011
	рук. Очаківський	— виток	2009—2011
		— розгалуження на рукави Потапівський і Прорва	
	рук. Старостамбульський	— вище витоку рук. Бистрий	2007—2009
		— нижче витоку рук. Бистрий	
	рук. Бистрий	— виток	2009—2011
		— гирло	
	рук. Восточний	— виток	2009—2011
		— гирло	
Природні водойми (затоки)	зат. Бистрий Кут	— від рук. Бистрий	2009—2011
		— середина водойми	
	зат. Потапів Кут	— вхід від рукава	2007—2009
		— середина водойми	
	зат. Делюків Кут	— вхід від рукава	2009—2011
		— середина водойми	
	зат. Ананькін Кут	— вхід від рукава	2009—2011
		— середина водойми	
Модифіковані та штучні водні об'єкти	ПК ГСХ	— від рук. Бистрий	2010—2012
		— середина каналу	
		— біля шпиля дамби	
	КДС	— від р. Дунай	2009—2011
		— середина каналу	
		— від Сасицького водосховища	
	Сасицьке водосховище	— біля дамби у с. Приморське	2009—2011
		— біля середини дамби	
		— біля дамби в районі насосної станції відкачки	

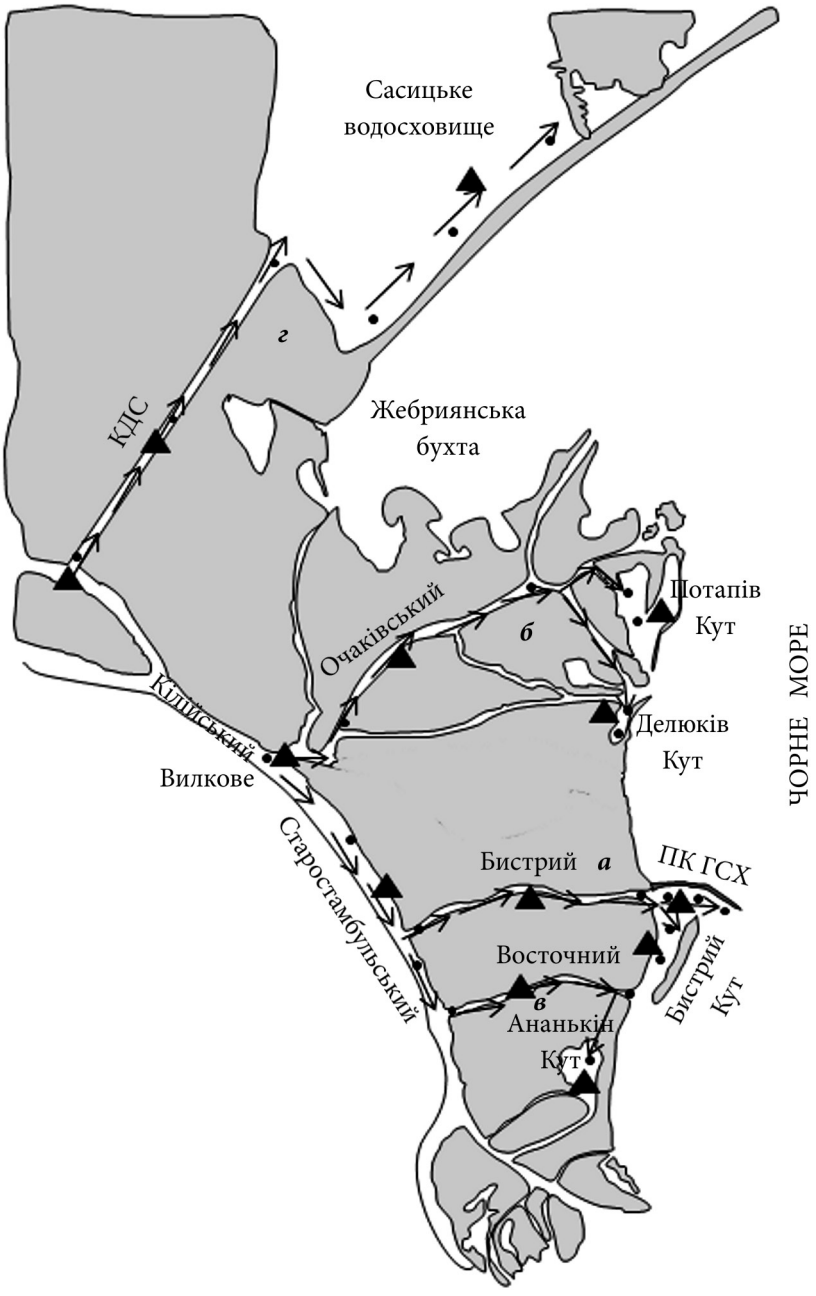

Рис. 1. Карта-схема регіону досліджень: чорні точки — станції досліджень, чорні трикутники — водні об'єкти (див. табл. 1); стрілками вказано напрямки основних потоків річкових вод через водні об'єкти (*а* — рук. Кілійський — рук. Бистрий — ПК ГСХ або зат. Бистрий Кут; *б* — рук. Кілійський — рук. Очаківський — зат. Потапів Кут та зат. Делюків Кут; *в* — рук. Кілійський — рук. Старостамбульський — рук. Восточний — зат. Ананькін Кут; *г* — рук. Кілійський — КДС — Сасицьке водосховище)

тестом Данна [14], який, на відміну від інших post-hoc тестів, зберігає об'єднану дисперсію, передбачену нульовою гіпотезою Краскела — Уолліса. Для обмеження можливості отримання статистично значущого результату при перевірці кількох гіпотез була використана поправка Бонферроні [12], яка дорівнює відношенню рівня значущості до кількості гіпотез, що перевіряються. Результати виражені як середнє значення та стандартне відхилення ($x \pm SD$) для показників кількості видів, загальної чисельності, загальної біомаси та індексу Шеннона між визначеними роками досліджень для кожного водного об'єкту. Всі статистичні розрахунки виконанні в пакеті аналізу PAST 4.11 [15].

Для абіотичних показників визначення приналежності до одного континууму проводилось, аналогічно біотичним характеристикам, за середньорічними значеннями солоності, pH, температури води, концентрації кисню у воді, які були отримані одночасно з відбором проб донних безхребетних з використанням кондуктометра HANNA HI 9835, pH-метру PH-3011 та оксиметру АЖА-101М.

Подібність видового складу донних безхребетних визначали за індексами Брея — Кертіса [13], подальшу кластеризацію водних об'єктів проводили за методом рівноважного міжгрупового середнього зв'язку (WPGMA) [38] без стандартизації за матрицею наявності/відсутності видів в пакеті аналізу біологічних даних BioDiversity Pro 2.0 [30]. Чисельність та біомасу безхребетних, а також індекс Шеннона визначали для кожної станції в певний сезон досліджень, з подальшим усередненням за кожен рік в межах водного об'єкту. Для кожного виду безхребетних розраховували коефіцієнти pN та pB, де p — зустрічальність виду (%), N — його середня чисельність, B — середня біомаса в межах водного об'єкту. Домінуючий комплекс складали таксони з максимальними значеннями pN та pB.

Результати досліджень

Абіотичні характеристики. Діапазон змін температури води в період спостережень в усіх водних об'єктах мало відрізнявся і становив в рукавах 12,5—28,7 °С, у водоймах — 13,0—31,2 °С та у штучних і модифікованих водних об'єктах — 9,0—32,2 °С. Водневий показник pH варіював в рукавах у межах 7,21—8,80, у водоймах — 7,03—9,87 та в штучних і модифікованих водних об'єктах — від 7,00 до 9,50. Вміст кисню у воді в рукавах дельти змінювався від 4,67 до 13,70 мг/дм^3, у водоймах — у межах 3,40—15,69 мг/дм^3, а в модифікованих водних об'єктах — від 6,70 до 12,00 мг/дм^3. За результатами множинного порівняння достовірної різниці між показниками температури води, pH та концентрації O_2 в різних водних об'єктах не виявлено (p>0,05) (табл. 2), тобто можемо констатувати континуальність розповсюдження цих характеристик в досліджуваній акваторії, яку зміна типу водного об'єкту та лотичних і лентичних умов не порушувала.

Солоність вод змінювалась у межах гіпо-олігогалинних вод в рукавах (0,17—0,72 ‰) і в затоках (0,17—3,05 ‰) дельти та гіпо-мезогалинних вод

(0,17—12,64 ‰) в штучних і модифікованих водних об'єктах, максимальні значення зафіксовані в ПК ГСХ. За результатами множинного порівняння встановлена достовірна різниця між Сасицьким водосховищем, де середньорічні значення солоності вод відповідали олігогалинній зоні і рук. Старостамбульський, який характеризувався мінімальними значеннями солоності вод, тобто відмічено порушення континуальності солоності в акваторії водосховища.

Видовий склад та видове багатство. Загалом зареєстровано 148 видів донних безхребетних, з яких найбільше — представників комах (табл. 3). В переважній більшості водних об'єктів за кількістю видів переважали Insecta і лише в рук. Бистрий — Clitellata, а в Сасицькому водосховищі — Malacostraca. Від інших водойм та водотоків за таксономічним складом відрізнялась зат. Ананькін Кут, де були зареєстровані лише представники класів Clitellata (Oligochaeta і Hirudinea) та Insecta (Chironomidae і Ceratopogonidae).

Порівняння діапазонів кількості видів в досліджених водних екосистемах показало достовірну різницю між донними комплексами КДС, де в усі роки досліджень зареєстровані їхні найбільші показники, і зат. Ананькін Кут, де вони завжди були найменшими (рис. 2). Діапазони інших водойм і водотоків за результатами множинного порівняння ста-

Таблиця 2

Результати аналізу спільності абіотичних характеристик різнотипних водних об'єктів ($x \pm SD$, тест Данна, $n = 3$)

Типи водних об'єктів	Водні об'єкти	*t*, °C	pH	O_2, мг/л	Солоність, ‰
Природні водотоки (рукави)	Кілійський	20,76±0,76[a]	8,22±0,14[a]	9,26±1,32[a]	0,21±0,02[ab]
	Очаківський	20,87±2,91[a]	8,06±0,35[a]	10,08±0,76[a]	0,21±0,01[ab]
	Старостамбульський	20,07±1,92[a]	8,09±0,62[a]	8,35±1,82[a]	0,20±0,00[b]
	Бистрий	19,75±1,79[a]	7,79±0,15[a]	9,21±0,72[a]	0,24±0,06[ab]
	Восточний	19,82±1,94[a]	7,79±0,10[a]	9,89±1,64[a]	0,25±0,05[ab]
Природні водойми (затоки)	Бистрий Кут	21,56±1,37[a]	8,07±0,35[a]	10,90±1,85[a]	0,75±0,52[ab]
	Потапів Кут	21,03±3,04[a]	7,97±0,49[a]	9,90±3,56[a]	0,48±0,28[ab]
	Делюків Кут	21,38±1,85[a]	7,82±0,14[a]	8,76±1,19[a]	0,29±0,08[ab]
	Ананькін Кут	18,25±0,35[a]	7,80±0,44[a]	7,36±1,43[a]	0,31±0,07[ab]
Модифіковані та штучні водні об'єкти	ПК ГСХ	22,12±2,78[a]	8,19±0,20[a]	9,79±1,19[a]	1,10±0,47[ab]
	КДС	20,29±2,66[a]	7,80±0,27[a]	9,78±1,01[a]	0,32±0,10[ab]
	Сасицьке водосховище	19,70±0,70[a]	8,35±0,28[a]	8,84±2,00[a]	1,02±0,25[a]

П р и м і т к а. Однаковими літерами в межах кожного показника позначені вибірки, які достовірно не відрізняються одна від одної за результатами тесту Данна (p>0,05).

Таблиця 3

Видове багатство донних безхребетних у різнотипних водних об'єктах

Типи водних об'єктів	Водні об'єкти	Кількість видів						Загалом
		Gastropoda	Bivalvia	Clitellata	Malacostraca	Insecta	інші	
Природні водотоки (рукави)	Кілійський	8	3	12	2	15	—	40
	Очаківський	5	3	16	5	18	2	49
	Старостамбульський	8	4	12	10	14	2	50
	Бистрий	6	1	14	8	12	2	43
	Восточний	7	2	13	14	24	1	61
Природні водойми (затоки)	Бистрий Кут	5	2	15	16	20	2	60
	Потапів Кут	7	1	11	6	27	1	53
	Делюків Кут	2	1	9	1	11	—	24
	Ананькін Кут	—	—	6	—	9	—	15
Модифіковані та штучні водні об'єкти	ПК ГСХ	1	4	11	11	15	3	45
	КДС	2	2	19	21	15	4	63
	Сасицьке водосховище	5	5	16	16	18	3	63
Загалом		14	10	31	35	52	6	148

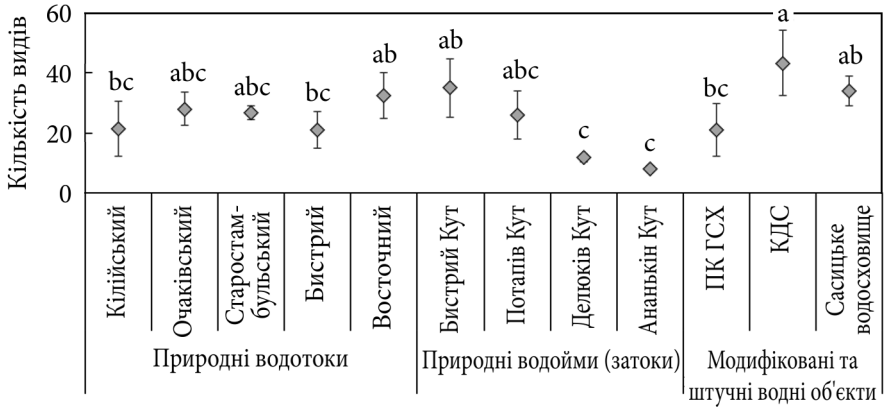

Рис. 2. Порівняння кількості видів у водних об'єктах різного типу: $x \pm SD$, $n = 3$; однаковими літерами позначені вибірки, які достовірно не відрізняються одна від одної за результатами тесту Данна з поправкою Бонферроні ($p > 0{,}05$)

тистично не відрізнялись, тобто значення кількості видів становили континуум показників. Зазначимо, що КДС та зат. Ананькін Кут — різнотипні водні об'єкти, віддалені один від одного та не пов'язані окремими водними потоками (див. рис. 1).

На рисунку 3 наведено результати порівняння кількості видів безхребетних в донних угрупованнях різних водних об'єктів уздовж окремих потоків річкових вод (див. рис. 1). У більшості випадків достовірної різниці між показниками не виявлено, відмічено лише певне підвищення значень від вихідної станції рук. Кілійський до прикінцевих ділянок переднього краю дельти, а також встановлена достовірна різниця між показниками, тобто порушення континуальності, наприкінці потоку 4 в рук. Восточний та зат. Ананькін Кут, які в усі періоди досліджень характеризувались значною різницею у видовому багатстві.

Особливості видової структури донних безхребетних за зустрічальністю наведені на рисунку 4. Із 148 зареєстрованих видів шість зустрічались в усіх екосистемах, серед них чотири види відносились до Oligochaeta (*Limnodrilus* sp., *L. claparedianus* Ratzel, *L. hoffmeisteri* Claparède і *Tubifex tubifex* (Müller)) і два види — до Chironomidae (*Chironomus* sp. і *Polypedilum convictum* (Walker)). Представленість спільних видів змінювалась від 9,5 % в Сасицькому водосховищі і КДС до 40,0 % в зат. Ананькін Кут.

З усього видового багатства 48 видів (32,4 %) були зареєстровані тільки в окремих гідроекосистемах, серед них Insecta — 19, Malacostraca — 16, Clitellata — 7, Bivalvia — 3, і по одному — Polychaeta, Gastropoda і Hydrozoa. Ці види не було знайдено в рукавах Кілійський і Очаківський та в зат. Делюків Кут, в інших водних об'єктах їхня представленість змінювалась від 5,0 % в рук. Бистрий до 17,0 % в зат. Потапів Кут (рис. 4).

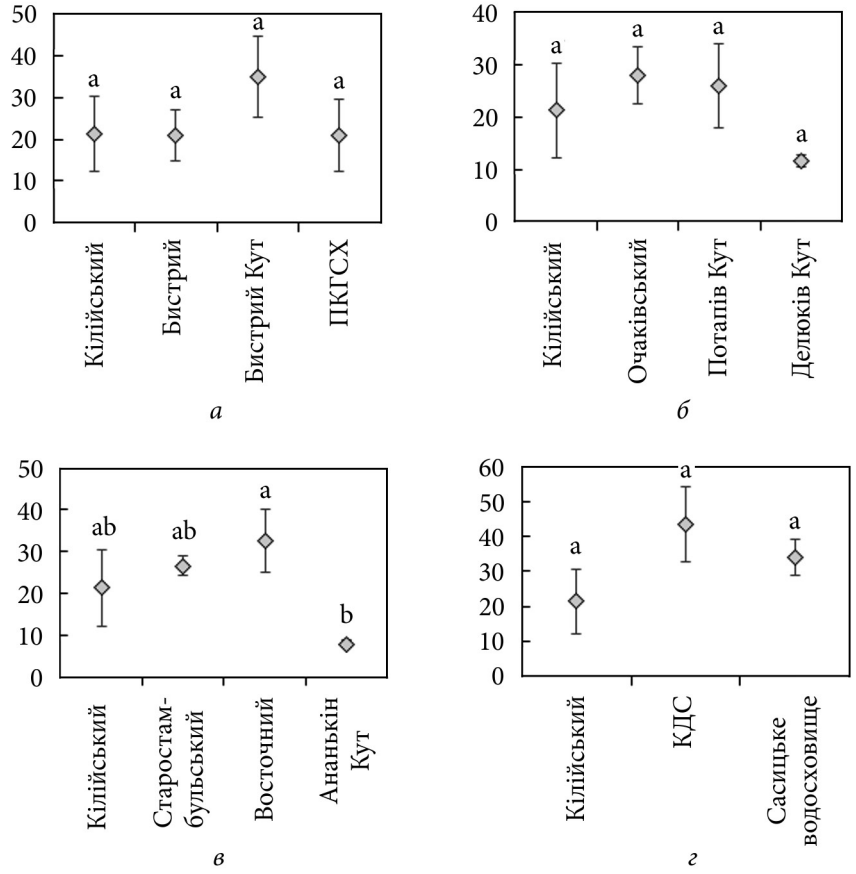

Рис. 3. Порівняння кількості видів уздовж окремих потоків річкових вод: по осі ординат — кількість видів, $x \pm SD$, $n = 3$; однаковими літерами позначені вибірки, які достовірно не відрізняються одна від одної за результатами тесту Данна з поправкою Бонферроні в межах кожного потоку ($p>0{,}05$).

Аналіз подібності видового складу (рис. 5) показав, що всі водні об'єкти на рівні 50,0 % утворюють два кластери: перший включає затоки Ананькін Кут та Делюків Кут, другий — рукави дельти, зат. Бистрий Кут та модифіковані і штучні водні об'єкти. В цьому кластері на рівні 55,0 % можна виділити три групи пов'язаних водних об'єктів: ПК ГСХ — Бистрий Кут; КДС — Сасицьке водосховище; рукави дельти. Окремо відділяється зат. Потапів Кут.

Тобто при загальній доволі високій подібності видового складу (континуальності видового складу) можна стверджувати про певний структуро формуючий вплив на організацію донних безхребетних різних типів водних об'єктів: прісноводні затоки, рукави та модифіковані і штучні об'єкти.

Значення індексу Шеннона змінювались від 1,64 до 2,75 біт/екз. в рукавах дельти, від 1,49 до 3,19 біт/екз. — у водоймах дельти і в межах

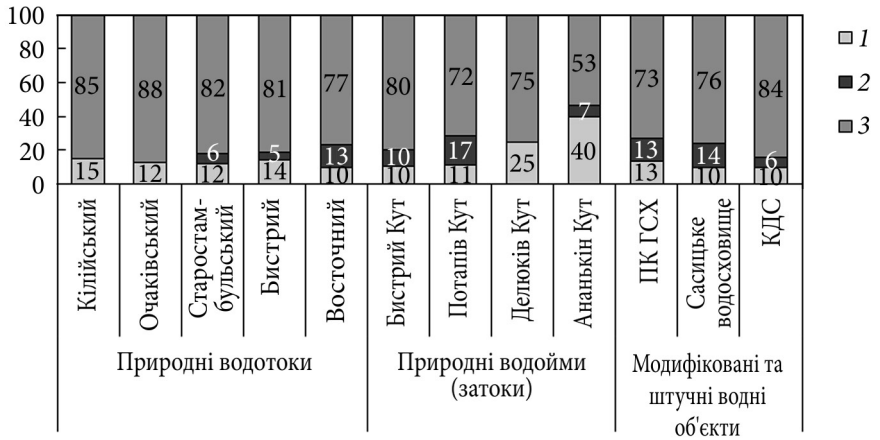

Рис. 4. Структура донних безхребетних за зустрічальністю: по осі ординат — видове багатство, %; *1* — види, які знайдено в усіх водних об'єктах; *2* — види, які знайдено лише в одному водному об'єкті; *3* — інші види

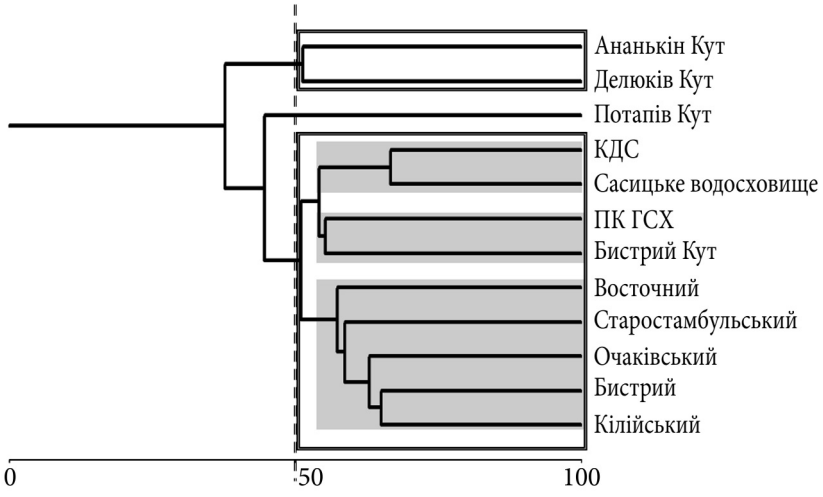

Рис. 5. Дендрограма подібності видового складу донних безхребетних: міра відстані Брея — Кертіса за методом середнього зв'язку; по осі абсцис — подібність, %; вертикальна штрих пунктирна лінія визначає рівень подібності в 50,0 %; блоки з подвійною лінією обмежують кластери водних об'єктів на рівні подібності >50,0 %; блоками виділені кластери на рівні подібності 65,0 %

1,61—3,00 біт/екз. — у модифікованих водних об'єктах. Проведений порівняльний аналіз показав достовірну різницю між зат. Бистрий Кут, де зареєстровані максимуми показників, та зат. Ананькін Кут з мінімальними значеннями (рис. 6). Інші показники статистично не відрізнялись, тобто утворювали загальний континуум, порушений у двох локаціях.

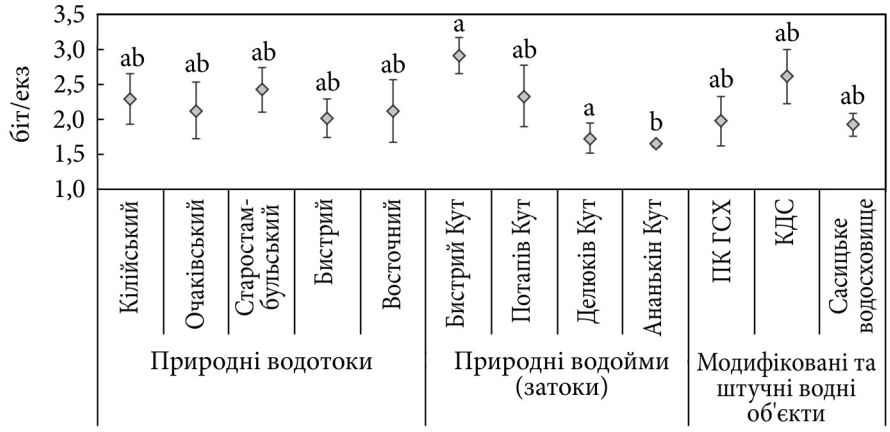

Рис. 6. Порівняння індексу Шеннона у водних об'єктах різного типу: $x \pm SD$, $n = 3$; однаковими літерами позначені вибірки, які достовірно не відрізняються одна від одної за результатами тесту Данна з поправкою Бонферроні в межах кожного потоку ($p>0,05$)

На рисунку 7 наведено результати порівняння індексу Шеннона вздовж окремих потоків річкових вод (див. рис. 1). Динаміка характеризувалась несуттєвими коливаннями значень, достовірної різниці між показниками не виявлено (див. рис. 7, *а—г*), тобто в усіх випадках зареєстрована континуальність, на відміну від загального масиву даних, що може пояснюватись приналежністю об'єктів, що відрізнялися в попередньому узагальненому аналізі, до різних потоків, тобто відсутністю прямого порівняння показників заток Бистрий Кут та Ананькін Кут.

Кількісні показники та домінуючі комплекси видів. Значення загальної чисельності змінювались у широкому діапазоні в рукавах та водотоках дельти (рис. 8, табл. 4), біомаси — в усіх типах водних об'єктів.

За чисельністю в переважній більшості водних екосистем переважали представники класу Clitellata (зокрема, Oligochaeta) і лише в зат. Бистрий Кут домінували Insecta (Chironomidae) (рис. 8, *а*). Загалом комахи представлені більше у затоках дельти та в КДС (>20,0 % чисельності) і менше — в рукавах та ПК ГСХ. Ракоподібні характеризуються низькою представленістю в переважній більшості водойм та водотоків, максимальна їхня частка характерна для ПК ГСХ (24,7 %), а в рукавах Восточний і Старостамбульський і в Сасицькому водосховищі їхня чисельність перевищувала 10,0 % від загальної чисельності донних безхребетних. Молюски характеризувались низькими показниками: в рукавах Кілійський, Очаківський і Старостамбульський та КДС чисельність Gastropoda складала 5,8—13,7 %, а в інших водних об'єктах, як і для Bivalvia, була значно нижчою.

За біомасою в рукавах дельти та в зат. Потапів Кут переважали Gastropoda, а в зат. Бистрий Кут, КДС та Сасицькому водосховищі — Bivalvia,

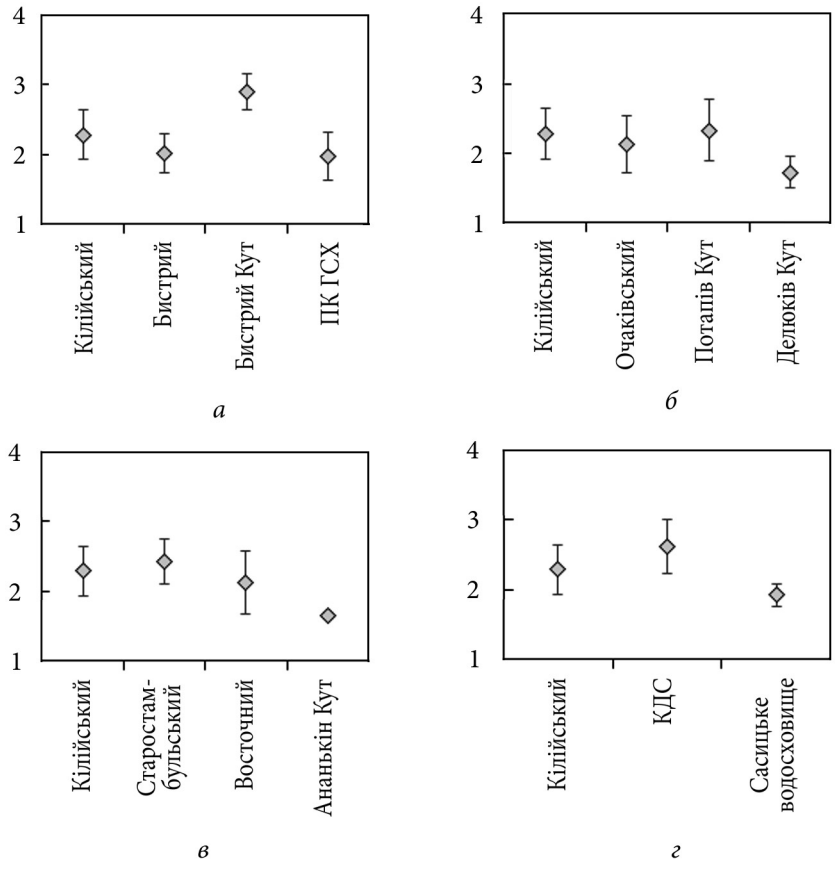

Рис. 7. Порівняння індексу Шеннона (H`(N)) вздовж окремих потоків річкових вод (див. рис. 1): по осі ординат — біт/екз., $x \pm SD$, $n = 3$; за результатами порівняння вибірок достовірних відмінностей за тестом Данна з поправкою Бонферроні не отримано ($p>0,05$)

останні суттєвого розвитку досягали і в Кілійському рукаві (рис. 8, *б*). В затоках Делюків Кут та Ананькін Кут домінували Clitellata (зокрема Oligochaeta).

Хоча чисельність і біомаса змінювались у значних межах, достовірної різниці ($p>0,05$) між їхніми показниками в різних водних об'єктах за результатами множинного аналізу не виявлено, тобто всі значення належать до однієї вибірки, одного континууму. Донні угруповання всіх гідроекосистем характеризувались спільним домінантом за чисельністю (Oligochaeta p. *Limnodrilus*), а рукавів — і за біомасою (Gastropoda *Lithoglyphus naticoides* (C. Pfeiffer)). У водоймах та модифікованих водних об'єктах за біомасою переважали різні види молюсків, а за їхньої відсутності — Oligochaeta p. *Limnodrilus*.

Чисельність донних безхребетних уздовж окремих потоків річкових вод загалом знижувалась від Кілійського рукава до прикінцевих ділянок

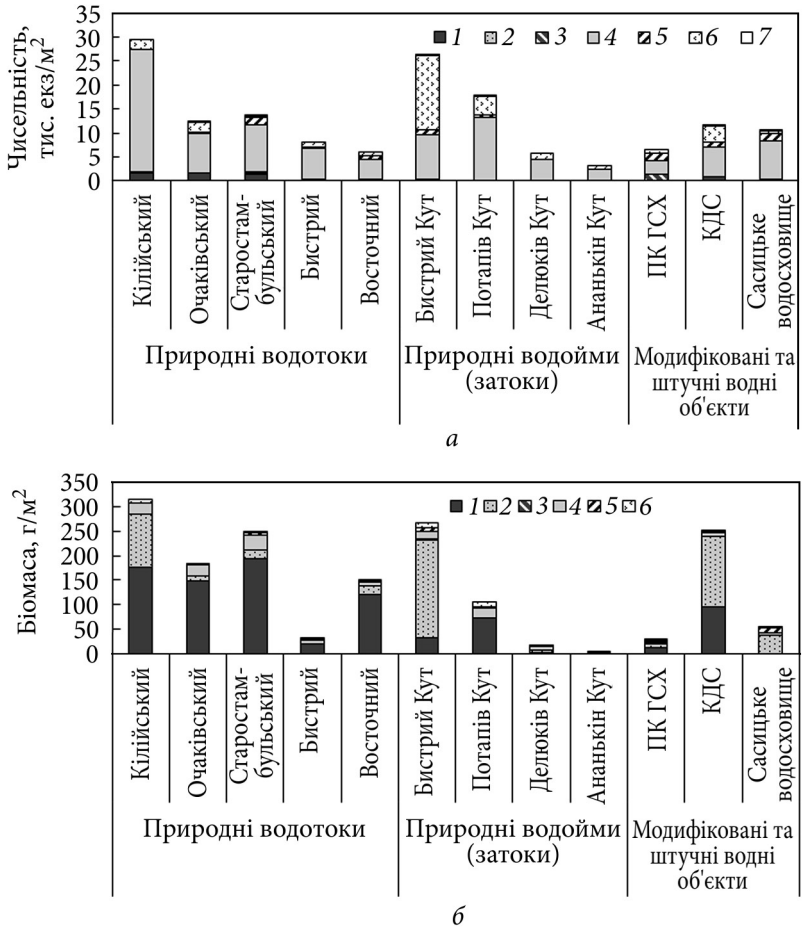

Рис. 8. Чисельність (*а*) та біомаса (*б*) в різнотипних водних об'єктах: *1* — Gastropoda; *2* — Bivalvia; *3* — Polychaeta; *4* — Clitellata; *5* — Malacostraca; *6* — Insecta; *7* — Nematoda

переднього краю дельти та Сасицького водосховища (рис. 9), певне підвищення зареєстровано лише в зат. Бистрий Кут (див. рис. 9, *а*). Разом з тим, достовірна різниця порівнюваних діапазонів значень, тобто порушення континуальності, зафіксована вздовж потоку 4 між початковою (Кілійський рукав) та прикінцевою (зат. Ананькін Кут) локаціями.

Біомаса донних безхребетних уздовж окремих потоків річкових вод загалом повторювала динаміку чисельності (рис. 10): певне підвищення зареєстровано на прикінцевій ділянці в зат. Бистрий Кут, а порушення континуальності відмічено для потоку 2 між початковою (Кілійський рукав) та прикінцевою (зат. Делюків Кут) локаціями.

Таким чином, аналіз загального масиву даних усіх досліджених водних екосистем не показав достовірних відмінностей у розподілі середніх величин чисельності та біомаси донних безхребетних різних водойм та

водотоків. Проте розгляд ділянок уздовж окремих потоків виявив певні відмінності: зокрема різниця між початковою локацією (потужний рук. Кілійський) та прикінцевими, найбільш віддаленими водоймами Ананькін Кут та Делюків Кут спостерігається більш явно, до достовірно різних значень обох показників.

Обговорення результатів досліджень

Систематичні гідроекологічні дослідження Кілійської дельти Дунаю були розпочаті одразу після Другої світової війни, і з того часу отримано і опубліковано дані як щодо абіотичних, так і біотичних характеристик. Відомості стосовно гідролого-гідрохімічних показників узагальнені у низці робіт [1—3], зокрема і авторів цього повідомлення [7, 20, 25, 26, 32]. Показано широкий діапазон мінливості визначених нами для аналізу ди-

Таблиця 4

Результати множинного аналізу чисельності і біомаси та домінуючий комплекс видів донних безхребетних різнотипних водних об'єктів

(x±SD, тест Данна, n = 3)

Типи водних об'єктів	Водні об'єкти	Чисельність, тис. екз/м^2	Біомаса, г/м^2	Домінуючий комплекс видів
Природні водотоки (рукави)	Кілійський	29,50±30,68	315,20±187,59	*Limnodrilus* sp. + *Lithoglyphus naticoides*
	Очаківський	12,25±6,99	184,80±76,00	
	Старостамбульський	13,57±12,07	250,22±78,08	
	Бистрий	7,96±5,80	32,19±22,07	
	Восточний	6,06±0,10	148,84±119,28	
Природні водойми (затоки)	Бистрий Кут	26,22±26,67	267,01±361,97	*Limnodrilus* sp. + *Corbicula fluminea*
	Потапів Кут	17,81±9,54	106,35±97,10	*Limnodrilus* sp. + *Viviparus viviparus*
	Делюків Кут	5,72±1,52	16,39±16,90	*Limnodrilus* sp.
	Ананькін Кут	3,11±1,42	2,37±1,61	
Модифіковані та штучні водні об'єкти	ПК ГСХ	6,46±4,37	28,06±28,50	*Limnodrilus* sp.
	КДС	11,58±5,00	250,78±97,72	*Limnodrilus* sp. + *Dreissena polymorpha*
	Сасицьке водосховище	10,51±5,07	51,82±32,70	

П р и м і т к а. За результатами порівняння вибірок достовірних відмінностей за тестом Данна з поправкою Бонферроні не отримано (p>0,05).

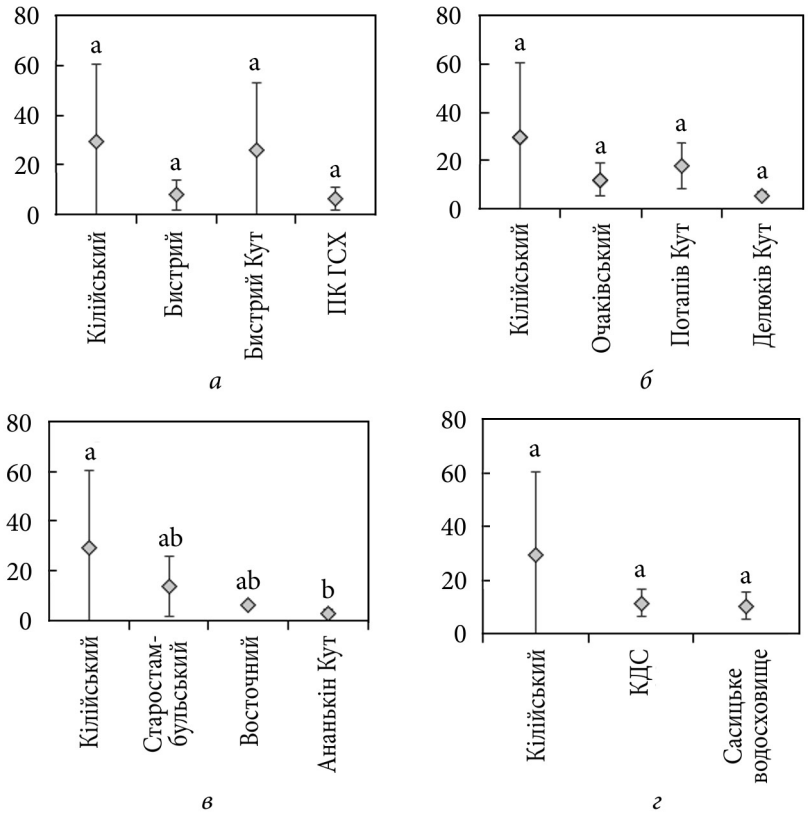

Рис. 9. Порівняння чисельності донних безхребетних уздовж окремих потоків річкових вод: по осі ординат — чисельність, тис. екз/м^2; $x \pm SD$, $n = 3$; однаковими літерами позначені вибірки, які достовірно не відрізняються одна від одної за результатами тесту Данна з поправкою Бонферроні в межах кожного потоку ($p>0{,}05$)

скретності та континуальності параметрів як у часі, так і просторі. Так, річковий потік в районі м. Вилкове має швидкість переважно біля 1,0 м/с, зумовлюється водністю річки, сягаючи максимальних значень в періоди водопілля та мінімальних в межень. За такої швидкості — 3,6 км на годину — вода досягає переднього краю дельти приблизно за 5 годин. В рукавах внаслідок високої турбулентності потоку показники по всій глибині мають близькі значення. За нашими спостереженнями та іншими свідченнями, проходячи вздовж рукавів, вода може змінювати значення своїх характеристик, зокрема засвідчено, що від м. Вилкове до Чорного моря вода може збагачуватись киснем на 12,00 % [3].

Температура в дельті змінюється від мінімальної 1,5 °С взимку до більш ніж 25 °С в літній період [2, 3]. В затоках переднього краю дельти у найспекотніші дні вода може прогріватись до 30 °С і більше, перевищуючи на кілька градусів показники в рукавах. Значення водневого показника загалом змінюється незначно (6,98—8,23), середні показники переваж-

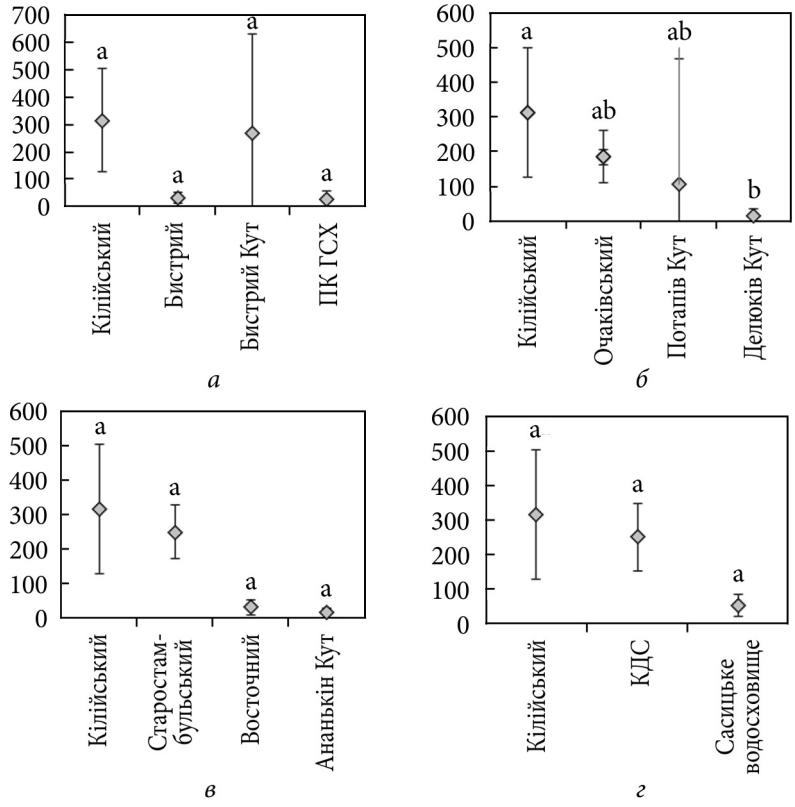

Рис. 10. Порівняння біомаси донних безхребетних уздовж окремих потоків річкових вод: по осі ординат — біомаса, г/м^2, $x \pm SD$, n = 3; однаковими літерами позначені вибірки, які достовірно не відрізняються одна від одної за результатами тесту Данна з поправкою Бонферроні в межах кожного потоку (p>0,05)

но відповідають нейтральній реакції води, разом з тим pH може зростати внаслідок фотосинтетичної діяльності водоростей, особливо в затоках переднього краю дельти [3, 7, 25, 26]. Кисневий режим загалом задовільний, в рукавах вміст кисню переважно змінюється в межах 4,9—13,9 мг O_2/дм^3, насиченість — 59—131 %, задухи практично відсутні [7, 25]. В затоках мінімальні показники вмісту кисню можуть бути суттєво нижчими, влітку можливий як періодичний його дефіцит, так і суттєве пересичення внаслідок активного фотосинтезу фітопланктону. Солоність в рукавах зрідка, лише в періоди нагонів води з моря, перевищує межі олігогалинної 0,5‰ зони, в затоках переднього краю дельти показник варіює переважно в межах оліго-мезогалинних вод, в екстремальних випадках солона вода може підніматись аж до м. Вилкове. Підвищення солоності у напівзакритих затоках Потапів Кут, Делюків Кут та Ананькін Кут також зумовлюється здебільшого нагонами з моря, як і у більш відкритих — зат. Бистрий Кут та акваторії ПК ГСХ, де вплив солоних вод

суттєвіший, максимальні значення (12,64 ‰) зафіксовані біля шпиля дамби на виході в море [26].

В Сасицькому водосховищі, за нашими спостереженнями, температура води може перевищувати 30 °С, pH внаслідок фотосинтетичної активності фітопланктону коливається в широкому діапазоні і нерідко сягає величини 9,0 і більше, тобто вода характеризується підвищеною лужністю. Кисневий режим має широкий діапазон значень (переважно 6,8—12,0 мг O_2/дм^3), для водойми характерні як періодичні (здебільшого локальні) задухи, так і пересичення внаслідок фотосинтетичної активності водоростей [21, 33]. Солоність води вздовж потоку Кілійській рукав — КДС — Сасицьке водосховище підвищувалась від прісних гіпогалинних до солонуватих b-мезогалинних вод. Загалом у пониззі водосховища вода зазвичай більш опріснена, ніж в середній частині та верхів'ях, за нашими даними, в останнє десятиріччя солоність води водосховища не перевищує 1,6 ‰, іноді вказують солоність до 4,0 ‰ [20].

Спираючись на наведені матеріали, ми та інші дослідники зазвичай розрізняли в Кілійській дельті Дунаю різнотипні водні екосистеми в першу чергу за морфометричними характеристиками та характером (швидкістю) течії (лотичні та лентичні), з характерним температурним і кисневим режимом та солоністю. КДС, Сасицьке водосховище та акваторію ПК ГСХ, зважаючи на їхнє штучне походження, також розглядали як окремі водні об'єкти. Проте проведений аналіз середньорічних значень абіотичних показників показав континуальність їхнього розподілу по всій досліджуваній акваторії, за виключенням солоності в Сасицькому водосховищі. А саме, за результатами множинного порівняння достовірної різниці між середніми значеннями температури води, pH та концентрації O_2 в різних водних об'єктах не виявлено (p>0,05) (див. табл. 2), тобто можемо констатувати континуальність розподілу цих характеристик в досліджуваній акваторії, яку зміна лотичних і лентичних умов не порушувала. За результатами множинного порівняння також встановлена достовірна різниця між Сасицьким водосховищем, де середньорічні значення солоності вод були максимальними і відповідали олігогалинній зоні, і рук. Старостамбульський, який характеризується мінімальним значенням солоності вод, тобто відмічено порушення континуальності солоності лише в акваторії Сасицького водосховища. Важливо, що аналогічні результати наведені і в нашій попередній роботі [35].

Спираючись на широко розповсюджене сьогодні твердження про те, що біотопічне різноманіття, зокрема утворюване абіотичними чинниками, зумовлює різноманіття біологічне, яке, напевне, є парадигмою сучасної екології [5, 6], можна очікувати й відповідні порушення біотичних характеристик, в першу чергу в місці порушення континуальності солоності.

Порівняльний аналіз масивів даних трьох основних гідробіологічних характеристик (кількість видів, чисельність та біомаса), а також комплексного розрахункового показника (інформаційного індексу Шеннона) як по всій досліджуваній акваторії, так і вздовж окремих потоків річкових

вод засвідчили переважання континуальності їхнього розподілу. В основному аналогічні закономірності отримані і для фітопланктону [35].

Донні безхребетні, як і фітопланктон [35], характеризуються просторовим континуумом домінуючого комплексу за чисельністю і певною локальною дискретністю — за біомасою. Отже, просторовий розподіл кількісних показників фітопланктону і донної фауни має певні спільні закономірності.

Для кількості видів на загальній акваторії в усіх досліджених водних екосистемах встановлено достовірну різницю між донними комплексами КДС і зат. Ананькін Кут (див. рис. 2). Діапазони інших водних об'єктів статистично не відрізнялись, тобто значення кількості видів являли континуум показників. Зазначимо, що КДС та зат. Ананькін Кут — різнотипні водні об'єкти, віддалені один від одного та не пов'язані спрямованим водним потоком (див. рис. 1). Для кількості видів уздовж окремих потоків річкових вод встановлено достовірну різницю, тобто порушення континуальності, наприкінці потоку 4 між показниками в рук. Восточний та зат. Ананькін Кут (див. рис. 3). Зауважимо, що ця прикінцева ділянка першою піддається впливу солоних вод, наближена до моря і є одним з об'єктів переднього краю дельти.

Для індексу Шеннона на всій акваторії встановлено достовірну різницю між затоками Бистрий Кут та Ананькін Кут. Зауважимо, що це водойми переднього краю дельти, до того ж зат. Бистрий Кут характеризується найбільш високою динамічністю та впливом солоних вод.

Для чисельності та біомаси в усіх досліджених екосистемах, незважаючи на значні коливання показників, не виявлено достовірної різниці значень, тобто всі вони належать до однієї вибірки, одного континууму. Однак для чисельності встановлено порушення континуальності вздовж потоку 4 між початковою (рук. Кілійський) та прикінцевою (зат. Ананькін Кут) локаціями (див. рис. 9), а для біомаси встановлено порушення континуальності вздовж потоку 2 між початковою (рук. Кілійський) та прикінцевою (зат. Делюків Кут) локаціями (див. рис. 10).

До того ж результати аналізу показників уздовж окремих потоків річкових вод, де зареєстровані порушення континуальності, наразі 2 та 4 (див. рис. 3, 9 та 10), свідчать про наявність клинальної мінливості, коли на сусідніх станціях спостережень відмічається висока подібність показників, тобто пули їхніх даних мають спільне поле, тоді як віддалені локації високої схожості показників не мають, їхні поля не перехрещуються. Зауважимо, що клинальна мінливість — явище в екології широко відоме [4, 5, 9, 16], виникає коли відмінності між суміжними вибірками незначні, але добре виражені між тими, що займають віддалені (крайні) положення.

Подібна закономірність спостерігалась не тільки для донних, а і для планктонних організмів. Так, при вивченні фітопланктону великих придунайських озер встановлено, що найвищою подібністю характеризуються гідрологічно пов'язані між собою озера (Ялпуг і Кугурлуй), а найниж-

чою подібністю — озера, найвіддаленіші географічно одне від одного (Кагул і Китай) [37].

Загалом можна стверджувати про загальну просторову континуальність розподілу досліджених абіотичних та біотичних показників в акваторіях Кілійської дельти Дунаю. Прояви дискретності, зареєстровані, в першу чергу, у водоймах переднього краю дельти, вірогідно, обумовлені зміною переважаючих прісних річкових вод на морські солоні.

Такі висновки загалом підтверджуються і кластерним аналізом (див. рис. 5), який показав високу подібність видового складу донних безхребетних досліджуваної акваторії: на рівні 50,0 % схожості визначені три кластери відповідно типам водних об'єктів (природні рукави, природні затоки та штучні і модифіковані водні об'єкти). Зауважимо, що два кластери відрізняються за солоністю вод: прісні, переважно гіпогалинні річкові рукави та переважно прісні, але періодично затоплювані морськими водами, гіпо-олігогалинні затоки.

Окремо кластерний аналіз визначив зат. Потапів Кут, яка за своєю еволюцією, морфометричними, гідрологічними та гідрохімічними характеристиками входить в одну групу прісноводних водойм переднього краю дельти з іншими досліджуваними затоками [6, 34]; напевне, питання схожості та відмінності видового складу їхніх донних безхребетних потребує додаткових досліджень.

До того кластерний аналіз визначив природну зат. Бистрий Кут в одному кластері з модифікованими та штучними водними об'єктами, а найбільшу подібність їхнього видового складу з ПК ГСХ. Зазначимо, що ці водні об'єкти мають частину спільної акваторії (див. рис. 1), обидва знаходяться під впливом рук. Бистрий, яким до них надходить потік прісної води та здійснюється дрифт гідробіонтів, до того ж вони утворені приблизно в один час, близько 20 років тому [2]. Це є чинниками, які сприяють схожості їхнього видового складу. Разом з тим їхні різні абіотичні характеристики (глибини, переважаючі субстрати, розподіл потоку та швидкість течії, переважаюча солоність тощо) формують суттєво відмінні біотопи і, як наслідок, зумовлюють певні відмінності видового складу.

Необхідно підкреслити, що результати кластерного аналізу донних безхребетних узгоджуються з результатами аналогічних досліджень фітопланктону, викладеними в попередній публікації [35]. Так, на дендрограмі подібності видового складу фітопланктону модифіковані і штучні водні екосистеми (КДС та Сасицьке водосховище) також виділялись в окремий кластер з високим рівнем подібності. Рівень подібності між природними екосистемами (рукавами дельти) та модифікованими і штучними екосистемами був низьким, що вказує на наявність локальної дискретності [35]. Отже, реакція гідробіонтів різних трофічних рівнів (автотрофи, консументи) та екологічних груп (планктон, бентос) є досить подібною, що ще раз підкреслює єдність біоти в лотично-лентичній гідроекосистемі дельти Дунаю. Певною мірою цієї єдності є їхній континуально-дискретний розподіл.

Відповідаючи на питання, поставлене у вступі роботи, можна стверджувати, що отримані результати свідчать про те, що структура екосистеми дельти, зокрема донна фауна, незважаючи на загальновизнане високе різноманіття абіотичних характеристик, насиченість різноманітними біотопами та мозаїчність їхнього розташування, більше відповідає концепції річкового континуума, ніж концепції динаміки плям/осередків. Узагальнюючи матеріали цього повідомлення, вважаємо встановленим переважання континуальності показників визначених абіотичних і біотичних характеристик в досліджуваній акваторії дельти. Зауважимо, що порушення континуальності зафіксовані в першу чергу у водних об'єктах її переднього краю, широкій перехідній зоні контакту річкових та морських вод, екотоні типу річка — море, з одного боку, та зоні екологічної напруги та катастрофи [19, 24, 26, 42] — з іншого, і тому вважаються нами доволі логічними.

Висновки

Дослідження дискретності та континуальності абіотичних і біотичних показників різнотипних водних екосистем Кілійської дельти Дунаю (природних водойм і водотоків, модифікованих та штучних водних об'єктів) методами множинного порівняння показали:

— континуальність розподілу показників температури, pH та вмісту кисню та дискретність солоності вод, зокрема в акваторії Сасицького водосховища;

— переважання континуальності розподілу основних гідробіологічних характеристик (кількість видів, чисельність, біомаса, індекс біологічного різноманіття за Шенноном та склад домінуючого комплексу видів) як по всій досліджуваній акваторії, так і вздовж основних потоків річкових вод;

— разом з тим, порушення континуальності (локальну дискретність) біотичних показників за всіма показниками зареєстровано в затоках дельти, які знаходяться під періодичним впливом солоних вод моря.

За результатами подібності видового складу континуальність проявляється для (штучних та природних) водотоків (рівень подібності кластерів 50,0 %), а дискретність — для водойм переднього краю дельти.

Таким чином, незважаючи на значне біотопічне різноманіття та наявність в Кілійській дельті Дунаю водних об'єктів різного типу, для переважної більшості абіотичних характеристик та біотичних показників донних безхребетних встановлено континуальність їхнього розподілу, яка локально порушується в акваторіях з динамічним режимом солоності вод.

Список використаної літератури

1. Биопродуктивность и качество воды Сасыкского водохранилища в условиях его опреснения. Киев : Наук. думка, 1990. 276 с.

2. Гидрология дельты Дуная. Москва : ГЕОС, 2004. 448 с.

3. Гидроэкология украинского участка Дуная и сопредельных водоемов. Киев : Наук. думка, 1993. 328 с.

4. Гродзинський Д.М. Основи ландшафтної екології: Підручник. Київ : Либідь, 1993. 224 с.

5. Константинов А.С. Общая гидробиология. Москва : Высш. шк., 1986. 472 с.

6. Ляшенко А.В. Бентосні безхребетні пониззя Дунаю : дис. ... докт. біол. наук: 03.00.17 / Нац. б-ка України ім. В.І. Вернадського. Київ, 2021.

7. Ляшенко А.В., Афанасьєв С.О., Санду К. та ін. Hydrobiocenoses of the transboundary sections of the Ukrainian and Romanian parts of the Danube delta: Гідробіоценози транскордонних ділянок української та румунської дельти Дунаю. Київ : Кафедра, 2018. 312 с.

8. Одум Ю. Основы экологии. Москва : Мир, 1975. 745 с.

9. Плахтій Д.П., Чинчик О.С., Кобринська С.В. Екологія. Основні терміни, поняття та означення. Кам'янець-Подільський: Медобори-2006, 2011. 320 с.

10. Філософський енциклопедичний словник: енциклопедія / ред. В.І. Шинкарук. Київ : Абрис, 2002. 742 с.

11. Barbosa F.A.R., Padisák J., Espíndola E.G. L. et al. The cascading reservoir continuum concept (CRCC) and its application to the River Tietк — Basin, Sro Paulo State, Brazil. *Theoretical Reservoir Ecology and its Applications* / Ed. by J.G Tundisi, M. Straškraba. Rio de Janeiro, Brazilian Academy of Sciences and Backhuys Publishers, 1999. P. 425—437.

12. Bonferroni C.E. Teoria statistica delle classi e calcolo delle probabilita. Seeber : 1936. 62 p.

13. Bray J.R., Curtis J.T. An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. *Ecological Monographs*. 1957. Vol. 27, N 4. P. 325—349. doi:10.2307/1942268

14. Dunn O.J. Multiple comparisons among means. *JASA*. 1961. N 56. P. 54—64.

15. Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*. 2001. Vol. 4, N 1. 9 p.

16. Huxley J. Clines: an Auxiliary Taxonomic Principle. *Nature*. 1938. N 142. P. 219—220.

17. Kafanov A.I. Continuity and discreteness of the Geomerid: bionomic and biotic aspects. *Zh. Obshch. Biol*. 2004. Vol. 56, N 6. P. 486—512.

18. Kruskal W.H., Wallis W.A. Use of ranks in one-criterion variance analysis. *J. Amer. Statistical Association*. 1952, Vol. 47, N 260. P. 583—621.

19. Liashenko A., Zorina-Sakharova K. The influence of the invertebrate drift on the communities of the Danube Delta marine edge. *Acta zool. bulg*. 2014. Suppl. 7. P. 27—31.

20. Liashenko A.V., Zorina-Sakharova K.Ye. Hydrological-hydrochemical characteristics of the Sasyk Liman and the Sasyk Reservoir. *Hydrobiol. J*. 2017. Vol. 53, N 2. P. 97—107.

21. Liashenko A.V., Zorina-Sakharova K.Ye. Hydroecological characteristics of the Sasyk Liman and the Sasyk Reservoir. *Hydrobiol. J*. 2017. Vol. 53, N 3. P. 26—43.

22. Liashenko A.V., Zorina-Sakharova K.Ye. Display of the contact zone edge effects in the Danube Delta. Intern. sci. conf., dedicated to 95th Anniversary of Academician of the NAS of Ukraine Yuvenaly Zaitsev «Achievements in studies of marginal effect in water ecosystems and their practical significance» (June 13—14, 2019, Odessa, Ukraine). Book of abstracts. Odessa, 2019. P. 36.

23. Liashenko A.V., Zorina-Sakharova K.Ye. The communities of benthic invertebrates of the Kiliia Danube Delta. *Hydrobiol. J*. 2023. Vol. 59, N 6, P. 3—19.

24. Liashenko A.V., Zorina-Sakharova K.Y., Pohorielova M.S. et al. Impact of hydrotechnical construction on aquatic ecosystems of the Kiliia branch of the Danube delta. *Biosystems Diversity*. 2022. Vol. 30, N 4. P. 359—371.

25. Lyashenko A.V., Zorina-Sakharova Ye.Ye. Biological indication of the water quality of the Kiliya Danube Delta by aquatic invertebrates' fauna. *Hydrobiol. J*. 2012. Vol. 48, N 6. P. 51—72.

26. Lyashenko A.V., Zorina-Sakharova Ye.Ye. Macroinvertebrates of the marine edge and fore-delta of the Kiliya branch of the Danube River delta. *Hydrobiol. J*. 2015. Vol. 51, N 2. P. 3—20.

27. Lyashenko A.V., Zorina-Sakharova K.Ye. Edge effect display in the communities of benthic invertebrates of the Danube River delta. *Hydrobiol. J.* 2021. Vol. 56, N 6. P. 19—37.

28. Lyashenko A.V., Zorina-Sakharova K.Ye., Guleykova L.V., Pogoryelova M.S. Peculiarities of the structural and functional characteristics of contact hydrobiocenoses. *Hydrobiol. J*. 2020. Vol. 56, N 1. P. 3—23.

29. Mann H.B., Whitney D.R. On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *Annals of Mathematical Statistics*. 1947. N 18. P. 50—60.

30. McAleece N., Gage J.D.G., Lambshead P.J.D., Paterson G.L.J. BioDiversity Professional statistics analysis software. Jointly developed by the Scottish Association for Marine Science and the Natural History Museum London. The Natural History Museum & The Scottish Association for Marine Science, Oban. 1997.

31. Protasov A.A., Uzunov Y.I., Sylaieva A.A et al. Ecological continuum: fundamental concepts and use in applied hydrobiology. *Hydrobiol. J*. 2022. Vol. 58, N 5, P. 3—15

32. Romanenko V.D., Lyashenko A.V., Afanasyev S.A. et al. Comprehensive characteristics of bottom sediments of water bodies of various types in the Kiliya Delta of the Danube River. *Hydrobiol. J*. 2011. Vol. 47, N 5. P. 3—20.

33. Shcherbak V.I. Primary production of algae in the Dnieper and Dnieper reservoirs. *Hydrobiol. J*. 1999. Vol. 35, N 1. P. 1—13.

34. Shcherbak V.I., Koziychuk E.Sh. Phytomicrobenthos dynamics in water bodies of various types in the Kiliya delta of the Danube River depending on some ecological factors. *Hydrobiol. J*. 2016. Vol. 52, N 3. P. 3—14.

35. Shcherbak V.I., Liashenko A.V., Semeniuk N.Ye. et al. Continuity and discreteness of the communities of hydrobionts in the lotic-lentic ecosystem of the Danube River delta: phytoplankton. *Hydrobiol. J*. 2023. Vol. 59, N 3. P. 3—27.

36. Shcherbak V.I., Pyl L.L., Klenus V.G. Primary production of phytoplankton in the Chilia branch of the Danube. *Hydrobiol. J*. 1987. Vol. 23, N 4. P. 8—11.

37. Shcherbak V.I., Semeniuk N.Ye., Lutsenko D.A. Diveristy and ecological characteristics of algae in the water column in the subbasin of the large Danube lakes during the autumn-winter period (Ukraine). *Intern. J. on Algae*. 2023. Vol. 25, N 1. P. 71—94.

38. Sokal R.R., Michener C.D. A statistical method for evaluating systematic relationships. *University of Kansas Science Bulletin*. 1958. N 38. P. 1409—1438.

39. Townsend C. The patch dynamics concept of stream community ecology. *J. North Amer. Benthol. Society*. 1989. Vol. 8, N 1. P. 36—50.

40. Vannote R.L., Minchall G.W., Cummins K.W. et al. The river continuum concept. *Can. J. Fisher. and Aquat. Sci*. 1980. Vol. 37, N 1, P. 130—137.

41. Ward J.V., Stanford J.A. The serial discontinuity concept of lotic ecosystems. *Dynamics of lotic ecosystems* / Ed. by T.D. Fontaine, S.M. Bartell. Ann Arbor : Ann Arbor Science, 1983. P. 29—42.

42. Zorina-Sakharova K.Ye., Lyashenko A.V. Macroinvertebrates-Invaders in the Kiliya Delta of the Danube River. *Hydrobiol. J*. 2020. Vol. 56, N 3. P. 46—61.

Надійшла 22.08.2023

A.V. Liashenko, Dr. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Leading Researcher,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
Volodymyr Ivasyuk Avenue, 12, Kyiv, 04210, Ukraine
e-mail: ArtemLyashenko@bigmir.net
ORCID 0000-0003-0028-4974

V.I. Shcherbak, Dr. Sci. (Biol.), Prof., Leading Researcher,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
Volodymyr Ivasyuk Avenue, 12, Kyiv, 04210, Ukraine
e-mail: ek424nat@ukr.net
ORCID 0000-0002-1237-6465

N. Ye. Semenyuk, Dr. Sci. (Biol.), Senior Researcher
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
Volodymyr Ivasyuk Avenue, 12, Kyiv, 04210, Ukraine
e-mail: natasemenyuk@gmail.com
ORCID 0000-0003-4447-3507

K.Ye. Zorina-Sakharova, PhD (Biol.), Senior Researcher
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
Volodymyr Ivasyuk Avenue, 12, Kyiv, 04210, Ukraine
e-mail: katerynazorinasakharova@gmail.com
ORCID 0000-0001-6159-2642

CONTINUITY AND DISCRETENESS OF AQUATIC COMMUNITIES IN LOTIC-LENTIC ECOSYSTEM OF THE DANUBE DELTA: BOTTOM INVERTEBRATES

It is proposed to determine the discreteness-continuity of the structural and functional characteristics of river systems using statistical tests of multiple comparisons. Based on the results of long-term studies of hydrological and hydrochemical indicators, species composition, and quantitative characteristics of benthic invertebrates, the manifestations of discreteness and continuity of their spatial distribution in the lotic-lentic system of the Kilia Danube Delta were considered. The continuity of both abiotic and biotic indicators was established, its violation was noted at the front edge of the delta, in places of unstable hydrological and hydrochemical regimes. The salinity of water and the origin (artificial or natural) of water bodies have been determined as key factors in the formation of the structure of benthic invertebrates.

Keywords: *multiple comparisons tests, natural and artificial water objects, similarity, water salinity*