
Розділ 2. Основи природокористування

УДК 504.453

© В.М. Удод, д-р біол. наук, професор;
О.Г. Жукова, інженер 1 кат.

Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ

ЕКОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНО–АНТРОПОГЕННИХ ГІДРОЕКОСИСТЕМ ВОДНОГО БАСЕЙНУ Р. КАЛЬМІУС

При екологічній оцінці стану гідроекосистем (ГЕ) водного басейну Кальміус (ВБК) використовують інженерно-екологічні показники та їх параметри, більшість з яких запропоновано нами. Використано системно–басейновий підхід досліджень ВБК, основою якого стали систематизація і обробка даних екологічного моніторингу за довгостроковий період. Такий період дозволив встановити наукові закономірності розвитку природно–антропогенних ГЕ в умовах постійного техногенного навантаження на них. Показано, що поява цих систем пов'язана із змінами асиміляційної ємності водного середовища, збільшенням техноємності та змінами структурно–функціональних властивостей ГЕ, зниженням самовідновної здатності ГЕ. Отримані результати стануть у пригоді для забезпечення раціонального використання водних ресурсів.

Ключові слова: природно–антропогенні гідроекосистеми, водний басейн, техногенне навантаження, екологічний моніторинг, ГДК токсичних металів.

Серед актуальних заходів, пов'язаних із збереженням екологічно безпечного розвитку гідроекосистем водних басейнів річок, одне із ключових значень мають виробничо–господарські нормативи [1], що обмежують діяльність того чи іншого виробництва певною величиною у зворотних водах (вмістом шкідливих речовин, кількістю завислих часток, біохімічним споживанням кисню, активною реакцією води, концентрацією кислот та лугів тощо). Умови відведення зворотних вод у водні об'єкти встановлюють із врахуванням можливого змішування та розчинення, фонові якості води [2]. При дотриманні екологічного нормативу гранично-допустимого скиду (ГДС) зворотних стічних вод в розрахункових гідростворах необхідно дотримуватися таких умов [1–3]:

$$P_{(e_0)} \rightarrow P_{(e_T)} \rightarrow P_{(e_{TP})} \leq 1, \text{ де}$$

Екологічна безпека та природокористування

$P_{(e_0)}$ – перехід гідроекосистем (ГЕ) із абсолютно стійкого стану розвитку до напруженого за умов початкових антропогенних впливів;

$P_{(e_t)}$ – перехід ГЕ в стан локальних порушень динамічної рівноваги;

$P_{(e_{гр})}$ – перехід ГЕ в граничний стан, коли асиміляційний їх потенціал стає лімітуючою функцією щодо здатності водних екосистем нейтралізувати та знезаражувати в певних концентраціях екоотоксиканти техногенного походження.

Але, на наш погляд, в умовах постійного навантаження водних басейнів річок з'являється четверта стадія розвитку гідроекосистем – критична ($P_{(e_{кр})}$), яка характеризується структурно–функціональними змінами в ГЕ. За таких умов в розрахункових зонах скиду зворотних вод змінюються взаємозв'язки між окремими складовими ГЕ і рівняння набуває вигляду:

$$P_{(e_0)} \rightarrow P_{(e_t)} \rightarrow P_{(e_{гр})} \rightarrow P_{(e_{кр})} \geq 1$$

Тобто, структурно–функціональні зміни в ГЕ пов'язані з тим, що у водних екосистемах накопичуються речовини-забруднювачі та продукти їх метаболізму [4] до певної межі концентрацій, по досягненні якої екологічний стан ГЕ переходить до нестійкої рівноваги (динамічна рівновага). Причиною такого стану є зміни асиміляційної ємності ГЕ [5], що відбуваються внаслідок порушення хімічних та біохімічних перетворень, процесів біоседиментації, дифузії, процесів саморегуляції і самовідновлення в ГЕ.

Всі ці зміни у водних басейнах річок не враховуються екологічним нормативом ГДС зворотних вод, що в умовах техногенно перегружених річок відбувається утворення природно–антропогенних гідроекосистем і погіршується екологічний їх стан (таблиця 1).

Таблиця 1 – Гідрохімічна характеристика стану водного басейну р. Кальміус по періодах (за даними Центральної геофізичної обсерваторії)

Періоди досліджень	∂M^3 ХСК, мг O_2	∂M^3 БСК ₅ , мг O_2	∂M^3 Нафтопродукти, мг/	∂M^3 Феноли летючі, мг/	∂M^3 Азот амонійний, мг/	∂M^3 Азот нітритний, мг/	∂M^3 Азот нітратний, мг/	∂M^3 Залізо загальне, мг/	∂M^3 Мідь, мг/	∂M^3 Цинк, мг/	∂M^3 Хром 6+, мг/	∂M^3 СПАР, мг/
ГДС для водойм рибогосподарського призначення	15	3,0	0,05	0,001	0,39	9,1	0,02	0,1	0,001	0,01	0,001	0,5
м. Донецьк (3,5 км вище міста)												
1980–1989 рр.	26,97	5,93	0,77	0,0001	3,254	0,395	3,237	0,00047	0,00936	0,0014	0,0052	0,11

Розділ 2. Основи природокористування

Продовження таблиці 1

м. Донецьк (3,5 км вище міста)												
1990–1999 pp.	24,75	4,83	0,41	0,00001	1,56	0,25	4,35	0,0003	0,03247	0,079	0,0114	0,07
2000–2010 pp.	35,29	3,97	0,05	0,0006	1,809	0,5902	4,5348	0,0001	0,0117	0,065	0,0068	0,02
м. Донецьк (2 км вище міста)												
1986–1989 pp.	16,87	2,52	0,3	0,0001	0,39	0,043	1,455	0,0032	0,001415	0,008714		0,048
1990–1999 pp.	20,46	2,77	0,268	0,000005	0,32	0,056	1,67	0,00678	0,02473	0,06196	0,00235	0,04
2000–2010 pp.	26,19	2,87	0,058	0,0005	0,216	0,04375	1,825	0,000314	0,00692	0,03813	0,00388	0,03
м. Донецьк (1 км вище міста)												
1980–1985 pp.	17,66	3,48	0,53	0,0001	0,35	0,039	0,22	0,00009	0,00141	0,003	0,00809	0,106
м. Донецьк (в р-н міста)												
1985 pp.	29,8	7,23	1,66	0,001	5,9	0,293	1,715	0,0002	0,0156	0,003	0,0056	0,048
м. Донецьк (5 км нижче міста)												
1980–1985 pp.	29,14	7,98	1,197	0,0001	4,99	0,187	3,15	0,0001	0,006	0,0036	0,00334	0,3
м. Донецьк (500 м нижче скиду міста)												
1980–1985 pp.	25,82	6,9	1,175	0,0001	5,58	0,193	2,72	0,0002	0,00285	0,002	0,005	
м. Авдотіно (500 м нижче скиду стічних вод)												
1980–1989 pp.	33,1	9,37	0	0,0001	0	0,12	2,64	0	0	0,00002	0,000003	0,115
смт. Горбачово-Михайлівське, верхб'єф												
1980–1988 pp.	6,98	5,68	2,265	0,02	8,87	1,4	41,94	0,0035	0,02231			0,63
с. Вознесенське (нижній б'єф вдсх. Старобешівське)												
1980–1988 pp.	6,69	4,82	0,64	0,22	2,26	0,998	48,81	0,001095	0,0039			0,7

с. Павлопольє (верхній б'єф вдсх. Павлопольське)												
1980–1988 рр.	9,88	9,64		0	0,59	0,6772	9,68	0,00011	0,000005			
с. Павлопольє (нижній б'єф вдсх. Павлопольське)												
1980–1988 рр.	5,7				0,61	0,18	11,38	0,00004				
смт. Приморське (в р-ні населеного пункту)												
1980–1985 рр.	16,85	3,26	0,95	0	0,35	0,068	3,37	0,000002	0,00029	0,00124	0,00028	0,1
пос. Хаценок												
1980 р.					0,2	0,1	0,4	0				
м. Маріуполь (11 км вище міста)												
1988–1989 рр.	27,175	2,48	0,248	0,00025	0,4	0,063	2,04	0,00201	0,018	0,0027	0,00041	0,1
1990–1999 рр.	22,9	4,03	0,15	0,00001	0,26	0,0903	2,63	0,00016	0,00554	0,01946	0,00123	0,09
2000–2010 рр.	25,98	2,45	0,032	0,00002	0,16	0,082	2,77	0,0001	0,002	0,03	0,00385	0,03
м. Маріуполь (в р-н міста)												
1988–1989 рр.	40,175	2,69	0,98	0,0014	0,64	0,14	1,77	0,0013	0,00823	0,00673	0,0004	0,3
1990–1999 р.	50,04	4,01	0,304	0,0016	0,64	0,18	2,79	0,00015	0,0019	0,0588	0,00626	0,06
2000–2010 р.	33,7	3,23	0,08	0,0013	0,38	0,405	3,59	0,00018	0,00337	0,0374	0,00514	0,04
м. Жданов (24 км вище міста) (Маріуполь 1986–1987)												
1986–1987 р.	15,7	1,99			0,349	0,092	0,8943	0,0001	0,0013	0,00325		
м. Жданов (в р-н міста) (Маріуполь 1986–1987)												
1986–1987 р.	25,6	3,69	0,5	0,003	0,9425	0,2294	3,3325	0,0003	0,00427	0,008	0,0064	0,03
м. Жданов (500 м нижче скиду вод заводу Азовсталь) (Маріуполь 1986–1987)												
1980–1985 р.	31,1	4,55	1,05	0,0049	0,55	0,2587	0,0633	0,00012	0,0053	0,0043	0,005	0,12

Для з'ясування змін причинно-наслідкових зв'язків між біотичними, абіотичними та антропогенними факторами при переході природних гідроекосистем в стан природно-антропогенних нами були враховані наступні методичні підходи їх досліджень:

- 1) Встановлення наукових закономірностей розвитку ГЕ з урахуванням системно-басейнового принципу [6];
- 2) Здійснення екологічної оцінки [7, 8] стану гідроекосистем водного басейну р. Кальміус (ВБК);
- 3) Створення програми інформаційного контролю за допомогою інженерно-екологічних показників та їх параметрів;
- 4) Корегування, на прикладі досліджень ВБК, вимог скиду зворотних вод у поверхневі водойми.

Програма інформаційного контролю за екологічним станом ВБК представлена на рис. 1. При цьому слід зазначити, що технічні показники характеризують дію джерел забруднення при взаємодії їх з водними ресурсами в процесі їх використання, економічні показники показують їх використання, а екологічні показники показують стан водних ресурсів та здатність їх до самовідновлення.



Рис. 1 – Програма інформаційного контролю за станом ВБК

Системно–басейнові дослідження передбачають встановлення наукових закономірностей розвитку гідроecosистем у просторі і часі за довгостроковий період (30 років), по 18 гідростворах, по 45 показниках. В даній роботі представлена найбільш повна екологічна характеристика стану ГЕ по дев'яти гідростворах, на які припадає найбільше техногенне навантаження (вище міст Донецьк, Маріуполь, Жданов; в межах міст; 500 м нижче скиду зворотних вод). Структура просторово–часової ієрархії дає змогу відобразити перехід природних гідроecosистем в природно-антропогенні системи в умовах техногенного навантаження. Підтвердженням цьому є значне перевищення ГДК в ГЕ (рис 2, 3, 4, таблиця 1), зміни узагальнених нормативних показників (індексу забруднення води – ІЗВ, екологічного індексу – I_e та зменшення ефективності самовідновних процесів (таблиця 2), збільшення техноємності водного середовища за рахунок збільшення напруженості екологічної ситуації в ГЕ, змін пристосувальних можливостей гідробіонтів внаслідок порушення зв'язків між біотичними, абіотичними й антропогенними чинниками і, зокрема, структурно–функціональних змін в ГЕ (таблиця 4). Аналіз кінцевих результатів свідчить, що між показниками існує узгодженість щодо змін інженерно–екологічних показників та їх параметрів. Такі результати дозволяють зробити висновок стосовно достовірності отриманих результатів.

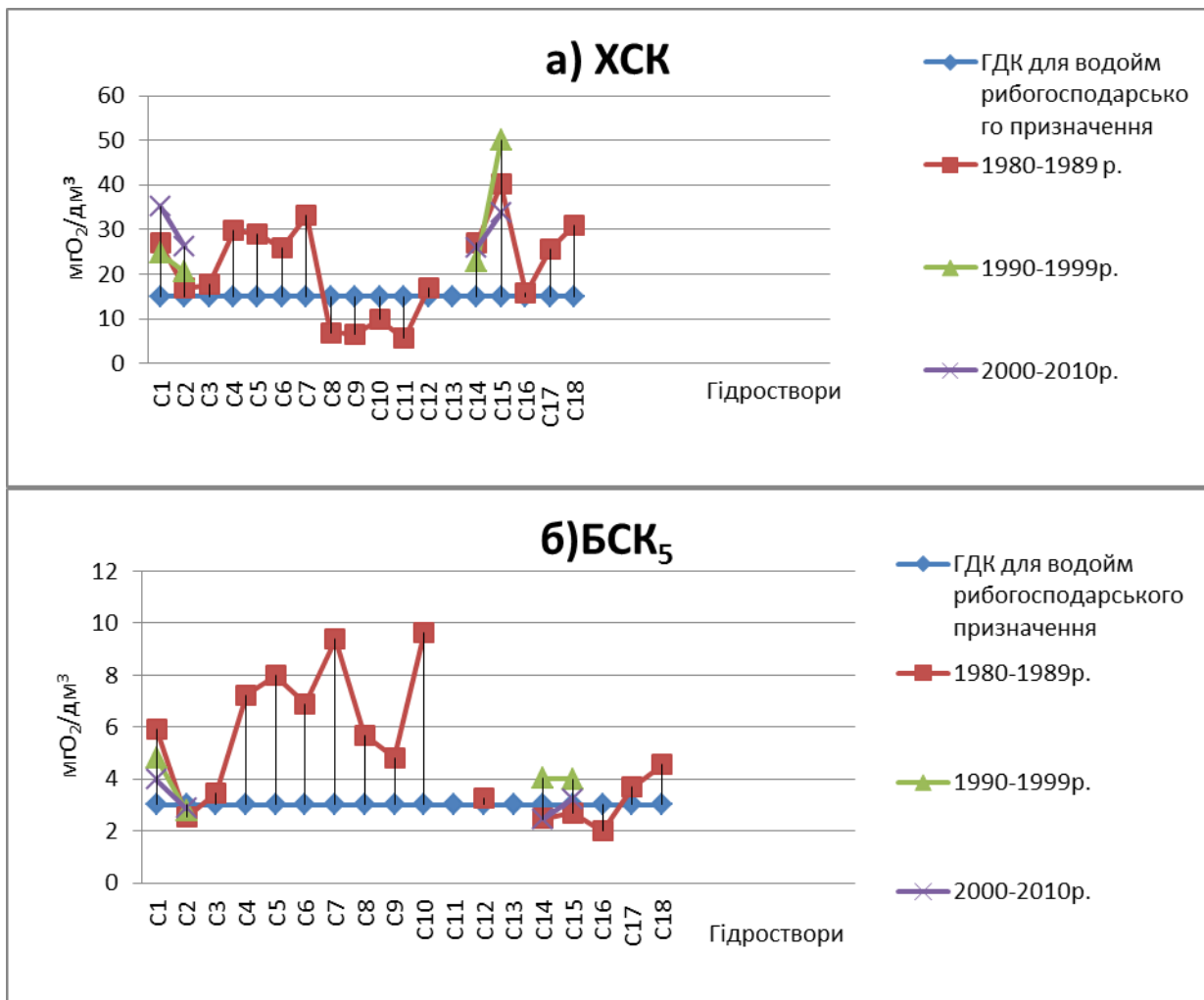


Рис. 2 – Динаміка змін ХСК (а) та БСК₅ (б) за довгостроковий період дослідження ВБК

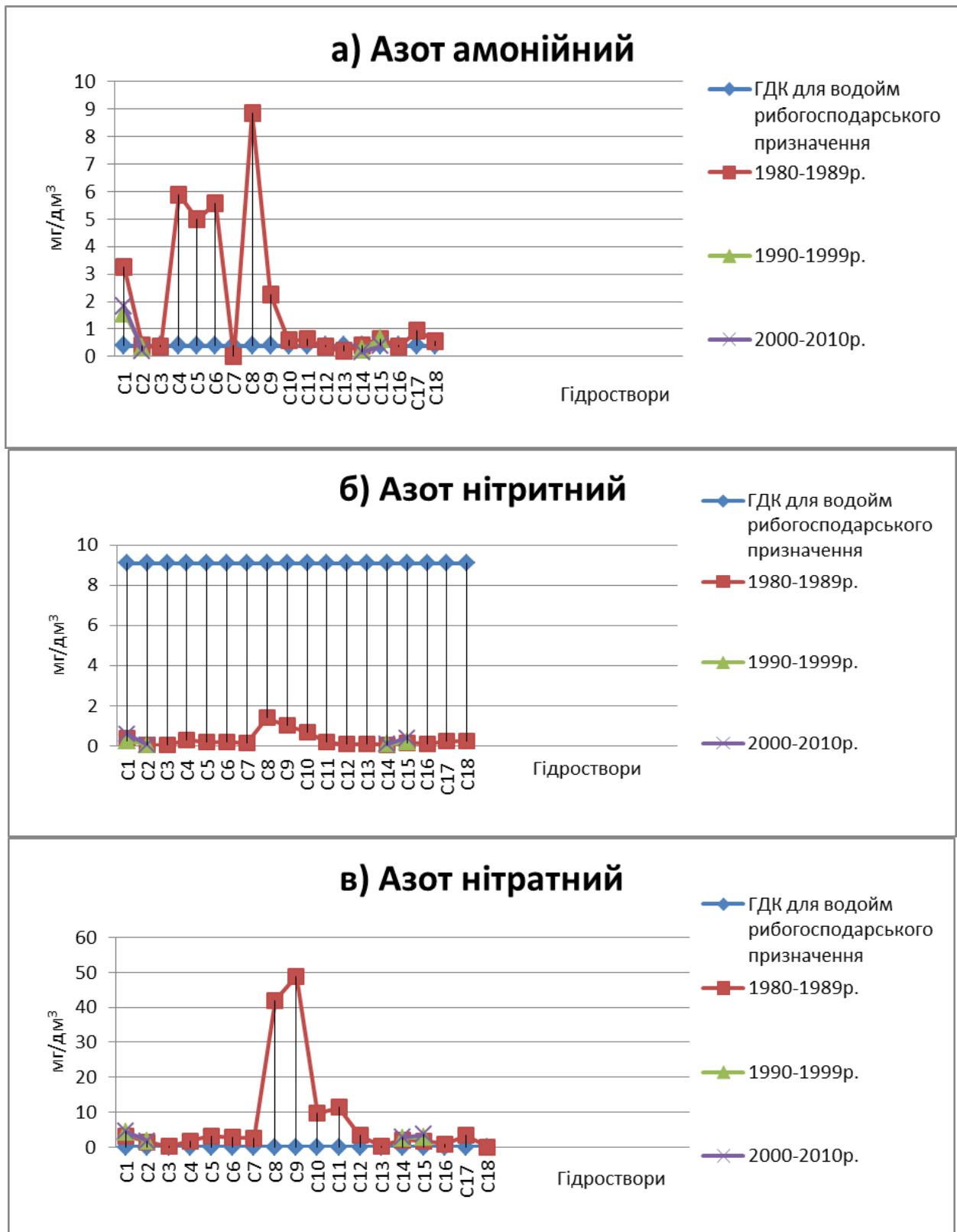


Рис. 3 – Динаміка змін азоту амонійного (а), азоту нітритного (б) та азоту нітратного (в) за довгостроковий період дослідження ВБК

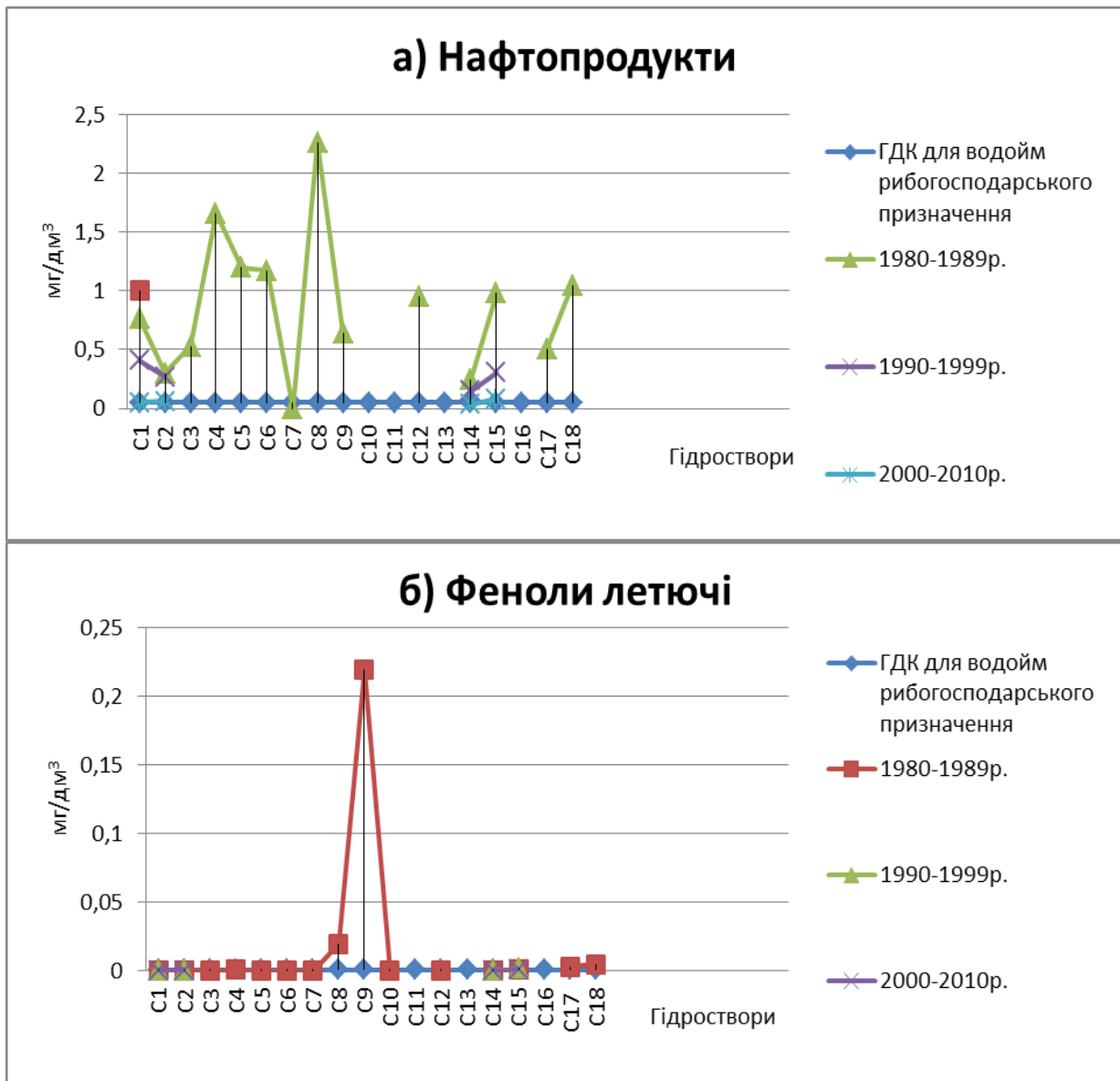


Рис. 4 – Динаміка змін нафтопродуктів (а) та фенолів летючих (б) за довгостроковий період дослідження ВБК

C1 – м. Донецьк (3,5 км вище міста); C2 – м. Донецьк (2 км вище міста); C3 – м. Донецьк (1 км вище міста); C4 – м. Донецьк (в р-н міста); C5 – м. Донецьк (5 км нижче міста); C6 – м. Донецьк (500 м нижче скиду міста); C7 – м. Авдотіно (500 м нижче скиду стічних вод); C8 – смт. Горбачово-Михайлівське, верх. б'єф; C9 – с. Вознесенське (нижній б'єф вдсх. Старобешівське); C10 – с. Павлопольє (верхній б'єф вдсх. Павлопольське); C11 – с. Павлопольє (нижній б'єф вдсх. Павлопольське); C12 – смт. Приморське (в р-н населеного пункту); C13 – пос. Хаценок; C14 – м. Маріуполь (11 км вище міста); C15 – м. Маріуполь (в р-н міста); C16 – м. Жданов (24 км вище міста); C17 – м. Жданов (в р-н міста); C18 – м. Жданов (500 м нижче скиду вод заводу Азовсталь).

Розділ 2. Основи природокористування

Таблиця 3 – Кратність перевищення ГДК токсичних металів

Періоди дослідження	Залізо загальне, мг/дм ³	Мідь, мг/дм ³	Цинк, мг/дм ³	Хром(6+), мг/дм ³
ГДК для водойм рибогосподарського призначення	0,1	0,001	0,01	0,001
м. Донецьк (3,5 км вище міста)				
1980–1989 рр.	0,0094	9,36	0,1367	0,52
1990–1999 рр.	0,006	32,47	0,794	11,4
2000–2010 рр.	0,0032	11,73	0,6515	6,78
м. Донецьк (2 км вище міста)				
1986–1989 рр.	0,064	1,42	0,8714	
1990–1999 рр.	0,1356	24,73	0,6196	0,235
2000–2010 рр.	0,00628	6,92	0,3813	0,388
м. Донецьк (1 км вище міста)				
1980–1985 рр.	0,0001	1,41	0,361	8,09
м. Донецьк (в р-н міста)				
1985 р.	0,004	15,6	0,301	0,56
м. Донецьк (5 км нижче міста)				
1980–1985 рр.	0,00264	5,96	0,363	3,34
м. Донецьк (500м нижче скиду міста)				
1980–1985 рр.	0,00296	2,85	0,287	4,91
м. Авдотіно (500 м нижче скиду стічних вод)				
1980–1989 рр.	0	0	0,00021	0,0003
смт. Горбачово-Михайлівське, верх.б'єф				
1980–1988 рр.	0,0035	0,02231		
с. Вознесенське (нижній б'єф вдсх. Старобешівське)				
1980–1988 рр.	0,022	3,97		
с. Павлопольє (верхній б'єф вдсх. Павлопольське)				
1980–1988 рр.	0,0022	0,005		
с. Павлопольє (нижній б'єф вдсх. Павлопольське)				
1980–1988 рр.	0,0008			
смт. Приморське (в р-н населеного пункту)				
1980–1985 рр.	0,00004	2,9	0,124	0,28
пос. Хаценок				
1980 р.	0			
м. Маріуполь (11 км вище міста)				
1988–1989 рр.	0,00402	18,48	0,2675	0,41
1990–1999 рр.	0,00326	5,54	0,1946	1,23
2000–2010 рр.	0,00256	2,43	0,3049	3,85
м. Маріуполь (в р-н міста)				
1988–1989 рр.	0,026	8,23	0,673	0,4
1990–1999 рр.	0,003	1,9	0,588	0,00626
2000–2010 рр.	0,0036	3,37	0,374	5,14
м. Жданов (24 км вище міста)				
1986–1987 рр.	0,00224	1,3	0,325	
м. Жданов (в р-н міста)				
1986–1987 рр.	0,00586	4,27	0,823	6,35
м. Жданов (500 м нижче скид вод Азовсталь)				
1980–1985 рр.	0,00242	53,81	0,4331	4,526

Таблиця 4 – Узагальнені показники та їх параметри стану гідроекосистем ВБК

Гідроствори ВБК	Індекс сапробності	Індекс техноємності	Індекс структурно-функціональних змін	Коефіцієнт стійкості ГЕ до антропогенного впливу	Ефективність самовідновлення %			Екологічний стан ГЕ
					висока	середня	низька	
м. Донецьк (3,5 км вище міста)	0,18	0,3	0,72	0,5	9,98	84,15	5,87	Перехід ГЕ із абсолютно стійкого стану розвитку до напруженого за умов початкових антропогенних впливів
м. Донецьк (в р-н міста)	0,5	1,1	0,3	6,0	4,62	39,93	55,45	Перехід ГЕ в стан локальних порушень динамічної рівноваги; інтенсивність самовідновних процесів (ІСГ) знаходиться на межі пристосувальних можливостей гідробіонтів
м. Донецьк (500 м нижче скиду зворотних вод)	2,2	1,34	3,5	6,0	0,46	18,70	80,84	Перехід ГЕ в стан локальних порушень динамічної рівноваги; ІСП знаходиться на межі перевищення можливих пристосувальних реакцій гідробіонтів.
м. Маріуполь (11 км вище міста)	0,35	0,24	2,9	8,0	1,19	18,91	79,9	Перехід ГЕ в стан локальних порушень динамічної рівноваги; ІСП знаходиться на межі пристосувальних можливостей гідробіонтів.
м. Маріуполь (в межах міста)	0,45	7,2	5,5	10,0	0,59	9,49	89,90	Перехід ГЕ у фазу критичного розвитку, яка характеризується вже значними структурно-функціональними змінами в ГЕ.
м. Маріуполь (500 м нижче скиду зворотних вод)	0,72	6,3	4,9	10,0	0,25	5,21	94,54	Перехід ГЕ у фазу критичного розвитку, яка характеризується вже значними структурно-функціональними змінами в ГЕ.
м. Жданов (24 км вище міста)	1,9	2,4	10,0	15,0	1,28	37,31	61,41	Перехід ГЕ в граничний стан, коли асиміляційний їх потенціал стає лімітуючою функцією щодо детоксикації речовин антропогенного походження та продуктів їх метаболізму.
м. Жданов (в межах міста)	0,9	0,53	1,8	5,0	0,56	5,00	94,44	Перехід ГЕ в стан локальних порушень динамічної рівноваги; інтенсивність самовідновлення знаходиться на межі пристосувальних можливостей гідробіонтів.
м. Жданов (500 м нижче скиду вод заводу Азовсталь)	4,5	1,65	6,3	15	0,84	8,06	91,1	Перехід ГЕ у фазу критичного розвитку, яка характеризується вже значними структурно-функціональними змінами в ГЕ.

Крім того, можна зазначити, що спостерігається збалансованість стану природно-антропогенних систем за рахунок узгодженості сумарного антропогенного навантаження на певні гідроекосистеми з індексом екологічної техноємності. Але коли обстановка в ГЕ характеризується як критична або дуже небезпечна, ця збалансованість переходить в напружений стан і погіршуються самовідновні процеси в ГЕ. Саме такий екологічний стан ВБК потребує вносити зміни в норматив ГДС.

Отримані результати будуть сприяти у практичних умовах прийняттю екологічно значимих результатів щодо забезпечення раціонального використання водних ресурсів.

Список використаної літератури

1. Удод В.М., Яців М.Ю. Інженерні методи захисту гідросфери. – К.: РВВ КНУБА, 2009, 109 с.
2. Гончарук Є.Г. та інші. Комунальна гігієна. – К.: Здоров'я, 2003, 726 с.
3. Мазур И.И., Молдованов О.И., Шишов В.Н. Инженерная экология. – М.: Высшая школа, 1996, Том 1, 637 с.
4. Мислюк О.О. Основи хімічної екології. – Київ: Кондор, 2012, 660 с.
5. Воробьёв А.Е. и другие. Основы природопользования. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2006, 544 с.
6. Удод В.М., Яців М.Ю. Сталий розвиток гідроекосистем – основа екобезпечного водокористування // Екологічна безпека та природокористування: Наук.-техн. збірник. – К.: КНУБА, 2011. – Вип. 7, С. 136–154.
7. Жукова Е.Г. Эколого-гигиеническая оценка состояния бассейна р. Кальмиус // Материалы международной научно-практической конференции: «Среда, окружающая человека природная, техногенная, социальная: Брянск. ЦНТИ, 2013, С. 8–11.
8. Жигуц Ю.Ю., Лазар В.Ф. Инженерна екологія. – К.: Конзор, 2012, 170 с.

Стаття надійшла до редакції 04.02.14 українською мовою

© В.М. Удод, О.Г. Жукова

ЕКОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННИХ ГІДРОЕКΟΣΙΣΤΕΜ ВОДНОГО БАСЕЙНУ Р. КАЛЬМІУС

При екологічній оцінці стану гідроекосистем (ГЕ) водного басейну Кальмиус (ВБК) використовують інженерно-екологічні показники та їх параметри, більшість з яких запропоновано нами. Використано системно-басейновий підхід дослідження ВБК, основою якого стали систематизація та обробка даних екологічного моніторингу за довготривалий період. Таким чином встановлено наукові закономірності розвитку природно-антропогенних ГЕ в умовах постійної техногенної навантаження на них. Показано, що виникнення цих систем пов'язано з зміною асиміляційної ємності водної середовища, збільшенням техноємності та змінами структурно-функціональних властивостей ГЕ, зниженням самовідновних властивостей ГЕ. Отримані результати стануть корисними для забезпечення раціонального використання водних ресурсів.

© V.M. Udod, O.G. Zhukova

**ECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF NATURAL-ANTHROPOGENIC
HIDROEKOSYSTEM WATER BASIN R. KALMIUS**

While giving an environmental assessment to the hydroecosystem state of the Kalmius River Basin the specialists usually use engineering-ecological indexes and their parameters, most of which are suggested by us in the paper. We put to use a systemic-basin approach to the Kalmius River Basin investigation. The basis of research is a systematization and handling of ecological monitoring data for a long-run period. Such time frame allowed to identify scientific regularities of natural-anthropogenic hydroecosystems development in response to a permanent man-induced impact on them. The paper shows that the emergence of such systems is connected with changes of aquatic habitat assimilation capacity, increase by anthropogenic and changes of structure-sensitive properties of hydroecosystems. Received results will be useful for the radical usage of water resources.