
ЗАГАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

УДК 504.453:577.4

СПЕЦИФІЧНІ РЕЧОВИНИ ТОКСИЧНОЇ ДІЇ У ВОДІ РІЧКИ ДУНАЙ

Лозовіцький П.С.

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління,
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, 03035, Київ,
Lozovitskii@gmail.com

Наведено результати екологічної оцінки води р. Дунай – м. Кілія за показниками токсичної дії за період 1971-2010 рр., розбитий на 6 коротких відрізків часу та за фазами водного режиму. *Ключові слова:* витрати води, фази водного режиму, коливання рівня води, індекс забруднення води.

Специфические вещества токсического действия в воде реки Дунай. Лозовицкий П.С. Приведены результаты экологической оценки качества вод р. Дунай – Килия по торфосапробиологическим показателям за многолетний период, разбитый на 6 кратких отрезков времени и по фазам водного режима. *Ключевые слова:* расход воды, фазы водного режима, колебания уровня воды, индекс загрязнения воды.

Specific toxic effects of the substance in the water of the Danube River. Lozovitskyy P. The variance the results of the ecological evaluation of the water quality river Danube – Kiliya for many years are revealed. *Keywords:* costs of water phase of the water regime, water level fluctuations, the index of water pollution.

Вступ

Річка Дунай є найбільшою в Центральній і Південно-Східній Європі й належить до басейну Чорного моря. За довжиною й площею водозбору Дунай - друга річка в Європі після Волги й займає 24-е місце серед річок Землі. Загальна площа басейну річки Дунай становить 817 тис. км²,

що перевищує площу України (604 тис. км²) і становить 8% загальної території Європи [15].

Найбільші притоки Дунаю, що беруть свій початок на території України – рр. Тиса, Прут, Серет формують близько 15 км³ води за рік. Це лише 7,3 % річного стоку Дунаю.

По території України проходить невелика ділянка пониззя річки Дунай

(170 км) від міста Рені до її гирла. Наближаючись до Чорного моря, річка вище румунського міста Тульча поділяється на три рукави: Кілійський, Сулинський та Георгіївський. Об'єм води в дельті Дунаю за руслами розподіляється так: Кілійське гирло - 58 %, Сулинське - 19 %, Георгіївське - 23 %. Найбільш багатоводний з них Кілійський рукав (129 км³/рік) проходить по прикордонній території Румунії і України [1, 3, 6, 15].

У басейні Дунаю на одного жителя припадає в 2 рази більше води, ніж у басейнах Дніпра й Дністра. У Західній Європі водопостачанням з Дунаю забезпечується 80 мільйонів людей.

Дунай - найбільш мутна річка Європи. Мутність дунайської води в районі м. Вилкове на рівні 850 - 880 і навіть 1300 г наносів у м³, а в осінньо-зимовий період, при мінімальному стоці, усього до 8 г, частіше 10 - 40 г. У придонному шарі - до 10 і більше кг у м³. Загальна маса твердого стоку річки становить від 45 до 85 млн. тонн у рік [2, 4, 6, 12, 20].

Загальний об'єм промислових, міських і сільськогосподарських стічних вод із усієї площі водозбірного басейну Дунаю в 90-ті роки XX ст. становив 20 км³ у рік або близько 10 % від стоку.

Загальний водовідбір з водних джерел басейну Дунаю в межах України рівний 2 км³, або 5,8 % загального водовідбору прісних вод в Україні. В озеро Сасик щорічно подається до 1 км³ дунайської води для підтримання необхідної якості води опрісненого озера [11].

Дунай дає майже половину загального об'єму стоку річок басейну Чорного моря.

Постановка задачі

З літератури відомо, що якісний склад води річок часто залежить від витрат та фази водного режиму. Виходячи з цього, розглянемо це питання більш детально для Нижнього Дунаю з врахуванням стоку, динаміки рівнів води, затоплення територій.

Розв'язання задачі

Пересічна витрата води річки Дунай 6460 м³/с. Об'єм середньорічного стоку Дунаю рівний 203 км³ (для порівняння - річний стік Дніпра рівний 52 км³, а Дністра й Десни - по 10 км³). У посушливі роки водність Дунаю значно менша і річний стік становить від 123 км³/рік (1921 р.), у багатоводні зростає до 313 км³/рік (1941 р.) [1].

Найбільш багатоводними місяцями на Дунаї є квітень, травень, і червень: на частку кожного випадає до 10-12 % річного стоку. Мінімальним стік спостерігається у вересні - жовтні (5,5 - 6 %) річного стоку [11, 12].

Максимальні добові витрати води у весняне водопілля досягають 12-16 тис. м³. В межень вони знижуються до 1,3-1,5 тис.м³, тобто більше ніж в 10 раз.

Встановлено тісну пряму поліноміальну кореляційну залежність між рівнем води (Н) на посту Дунай - Рені і витратами (рис. 1). Отже, витрата води (Q) в залежності від рівня води в річці (Н, см) визначається за формулою:

$$Q \text{ (м}^3\text{/с)} = 0,0166 H^2 \text{ (см)} + 11.575 H + 2036,8$$

Коливання рівня води (між найвищими й найнижчими відмітками) протягом року в пункті спостережень Рені перевищували 400 см в 1953,

1954, 1963, 1970, 1980, 2010, 2011 і ін. роках. А це значить, що максимальні річні витрати в ці роки перевищували 9300 м³/с. При цьому, най-

вищий історичний рівень за час спостережень (1860-2012 рр.) в Рені становить 619 см (6.07.2010 р.).

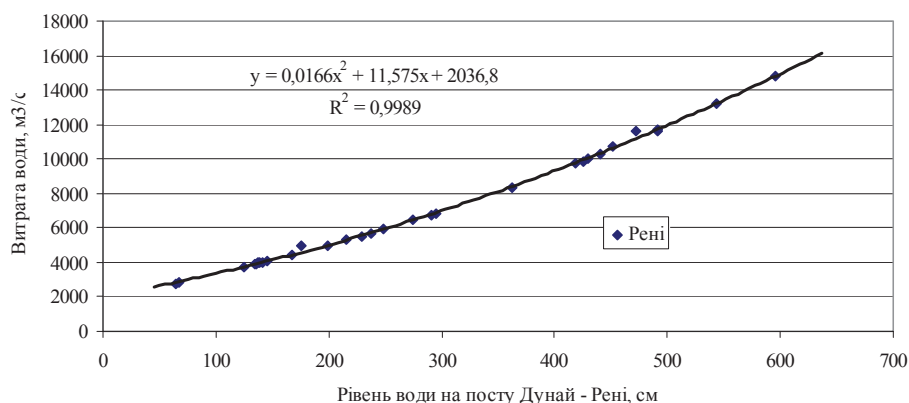


Рис. 1. Кореляційна залежність між рівнем води на посту Дунай – Рені і витратам

Автором встановлено, що рівні води на гідрологічних постах Дунаю нижче Рені мають обернений тісний

кореляційний зв'язок з відмітками в Рені на одні і ті ж дати (рис. 2).

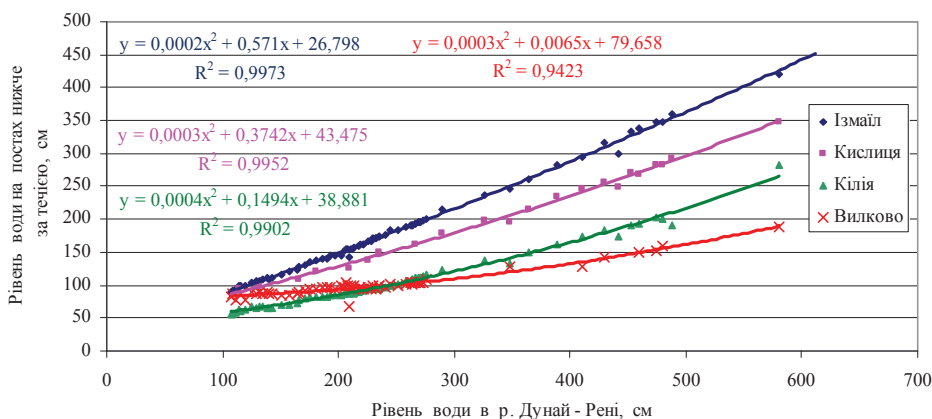


Рис. 2. Залежність рівня води на постах нижче за течією від рівня води в пункті спостережень Дунай – Рені на одні і ті ж дати

З приведених на рис. 2 рівнянь і ліній регресії випливає, що при рівні води в Рені 581 см, рівень води в Ізмаїлі буде 420 см, в Кислиці – 348, Кілії – 282, Вилковому – 189 см.

Характерні амплітуди коливання рівня води протягом року на посту Дунай – Ізмаїл приведено на рис. 3.

Отже, річна амплітуда коливань рівня води в вершині дельти Дунаю

(м. Рені) і біля моря змінюється приблизно від 5,0 до 0,5 м. При цьому максимальна амплітуда коливання рівня води в річці складає: для Рені – 6,2 м, Ізмаїлу – 4,4, Кілії – 2,6, Вил-

ковому – 1,7, Прірви – 0,8 м [6, 11].

Мінімальні рівні води Дунаю в дельті спостерігаються найчастіше в жовтні – січні.

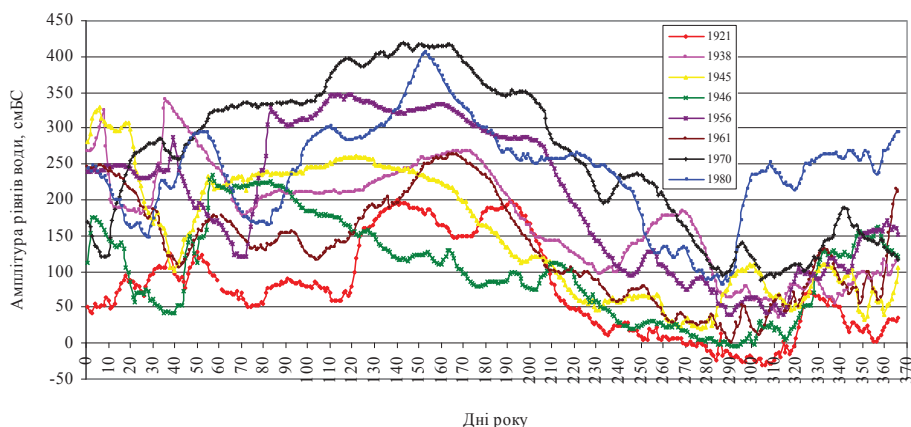


Рис. 3. Характерні амплітуди рівнів води для р. Дунай - м. Ізмаїл за гідрографами 1921-1988 рр., смБС

Необхідно відмітити, що весняна повінь на Дунаї є досить тривалою, до 216 діб (1941 р.), в середньому близько 4 місяців. Підняття рівня води в Дунаї означало затоплення за-

плави. При піднятті рівня води до відмітки 500 см майже вся територія заплави (95 % до 1955 р) покривалась водою і відбувався природний водобмін з озерами.

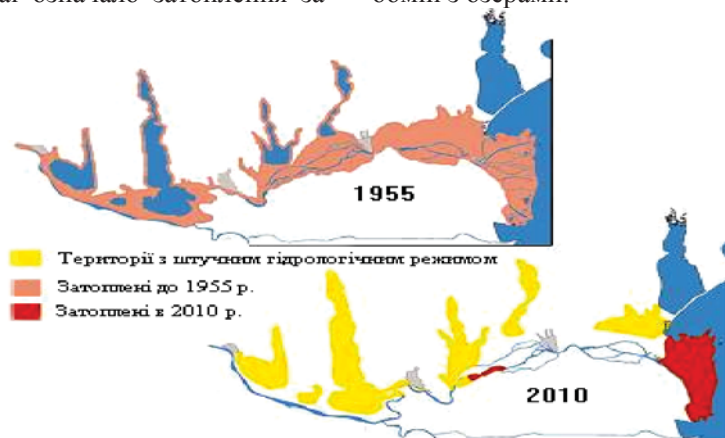


Рис. 4. Вплив будівництва дамб на зміну гідрологічного режиму територій і їх затоплення

В середині минулого століття почалося активне освоєння заплави нижнього Дунаю. Для захисту насе-

них пунктів, портових споруд, промислових підприємств, сільгоспугідь, риборозплідних ставків і меліоратив-

них об'єктів від затоплення в середині минулого століття уздовж українського берега Дунаю від м. Рені до м. Вилкове в 1955-1970 рр. був побудований комплекс протипаводкових гідротехнічних споруд загальною довжиною 239 км, у тому числі 215 км дамб і 13 шлюзів-регуляторів, призначених для водогосподарського менеджменту Придунайських озер.

Величезні ділянки заплави, розташовані між річкою і придунайськими озерами, були осушені і перетворені в сільгоспугіддя, а озера стали використовувати як водосховища для питного водопостачання, зрошення та рибництва, для захисту прилеглих заплавлених земель від затоплення та регулювання накопичення у водосховищах води для зрошення (рис. 4).

Побудова дамби вздовж Дунаю (на відстані 100-150 м від річки) на ділянці Рені – Ізмаїл (55 км), де русло має найбільшу ширину (місцями до 1600 м і глибиною до 20 м), заблокувало природний водообмін з озерами і затоплення заплави. Велика частина заплави після 1960 рр. перетворена на сільськогосподарські угіддя які зрошуються водою Дунаю.

Мета досліджень – установити стан забруднення та якості води річки Дунай у пункті спостережень м. Кілія та виявити закономірності змін вмісту специфічних токсичних речовин у часі та за фазами водного режиму.

Методика досліджень

На основі результатів спостережень на стаціонарному гідрологічному пункті річка Дунай - м. Кілія (а також в меншій мірі Дунай - Вилкове) в системі Держгідрометслужби

України протягом 1950-2010 рр. та особистих досліджень автора [7-9] в цьому ж пункті протягом 1984-2000рр. було складено банк даних за наступними 50 показниками якості: витрата води при відборі проб ($\text{м}^3/\text{с}$), вміст головних іонів (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , CO_3^{2-} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-), загальна мінералізація води, величина pH, вміст біогенних речовин (N-NH_4^+ , N-NO_2^- , N-NO_3^-), загального азоту й фосфору, мінерального фосфору (P-PO_4^{3-}), зважених речовин, насиченість киснем (O_2 , мг/дм^3), кольоровість води, перманганатна й біхроматна окислюваність (ПО, БО), біохімічне споживання кисню за 5 діб (БСК_5), вміст важких металів (Fe^{3+} , Cr^{3+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} , Mn^{2+} , Cr^{6+} , Co^{2+} , Cd^{2+}), фенолів, нафтопродуктів (НП), синтетичних поверхнево-активних речовин (СПАР), залишків деяких пестицидів. Паралельні статистичні ряди даних хімічних аналізів містили до 420 значень.

Математико-статистичний аналіз зроблено на персональному комп'ютері з використанням стандартних обчислювальних програм "Excel", «Costat».

Результати досліджень.

Уміст у природній воді річок нафтопродуктів, фенолів, СПАР, фторидів, ціанідів, пестицидів, важких металів та радіоактивності відноситься до специфічних показників токсичної й радіаційної дії.

Уміст нафтопродуктів у воді Дунаю змінювався від 0 (23,44 % проб) до $1,2 \text{ мг/дм}^3$ (5-6.07.1973). ГДК нафтопродуктів у водоймах рибогосподарського призначення, внутрішніх морях України й гранична межа 3 катего-

рії екологічної оцінки $0,05 \text{ мг/дм}^3$, а для водойм господарсько-побутового призначення – $0,3 \text{ мг/дм}^3$. При цьому, 47,46 % проб води Дунаю мали уміст нафтопродуктів нижчий за ГДК для водойм рибогосподарського призначення, а 89,5 % проб – для водойм господарсько-побутового призначення [14, 17]. Загалом рівень забруднення води нафтопродуктами є характерним і високим.

Середньоарифметичні значення умісту НП у воді зростали з $0,25$ (1971-1980 рр.) до $0,308$ (1991-1995) мг/дм^3 (табл. 1). У пізніші терміни ці показники постійно знижувались, а з 2001 р. є нижчими за ГДК для водойм рибогосподарського призначення.

За фазами водного режиму найви-

щий середній уміст НП у літню межень, найнижчий – у весняну повинь і у всі фази перевищує ГДК для водойм рибогосподарського призначення (табл. 2).

Середній найвищий **уміст нафтопродуктів** у воді Дунаю був у 1991-1995 рр. і становив $0,308 \text{ мг/дм}^3$ (7 категорія якості, брудна), у 1971-1980 рр. – $0,25 \text{ мг/дм}^3$ (6 категорія якості, сильно забруднена), у 1981-1990 рр. – $0,108 \text{ мг/дм}^3$ (5 категорія якості, помірно забруднена), у 1996-2000 рр. – $0,057$ (4 категорія якості, слабо забруднена), у 2001-2010 рр. – $0,039\text{-}0,017 \text{ мг/дм}^3$ (3 категорія якості, досить чиста). Отже, починаючи з 1996 р стан води Дунаю щодо забруднення нафтопродуктами постійно покращується.

Таблиця 1. Середньоарифметичний уміст специфічних показників токсичної дії у воді Дунаю за період спостережень, мг/дм^3

Інгредієнти	1971-1980	1981-1990	1991-1995	1996-2000	2001-2005	2006-2010
НП	0,25	0,108	0,308	0,057	0,039	0,017
СПАР	0,072	0,015	0,044	0,018	0,014	0,015
Феноли	0,0037	0,0052	0,0054	0,0057	0,0106	0,0038
Фториди	0,21	0,26	0,24	0,23	0,28	0,29
Cu^{2+}	0,0072	0,0128	0,0144	0,0075	0,0066	0,0089
Zn^{2+}	0,0246	0,0359	0,1242	0,0658	0,0312	0,0367
Fe, заг	0,27	0,31	0,4122	0,2665	0,1932	0,3566
Cr^{6+}	-	0,0017	0,0032	0,0049	0,0035	0,0059
Mn^{2+}	0,0062	0,0607	0,0402	0,042	0,0219	0,0734
Ni^{2+}	0,0141	0,0165	0,0149	0,0163	0,0159	0,0187
Co^{2+}	0	0,0108	0,0122	0,0134	0,0117	0,0129
Al^{2+}	0,0059	0,0095	0,0084	0,0113	0,0186	0,0234
Cd^{2+}	-	0,000834	0,0009	0,0013	0,0032	0,0048
Hg^{2+}	0	0,00005	0,00004	0,000035	0,00003	0,000034
Pb^{2+}	0,0053	0,0086	0,0092	0,0084	0,0076	0,0091
^{90}Sr , Бк/ м^3	10,1	-	-	19,3	22,5	13,9
^{137}Cs , Бк/ м^3	-	-	-	2,18	2,12	1,48
Витрати води при відборі проб, $\text{м}^3/\text{с}$	4415	3456	3173	3905	3529	3570

Таблиця 2. Середньоарифметичний уміст специфічних показників токсичної дії у воді Дунаю у різні фази водного режиму, мг/дм³

Інгредієнти	Зимова межень	Весняна повинь	Літня межень	ГДК рибогосподарського призначення	ГДК господарсько-побутового використання	Гранична межа 3 категорії екологічної оцінки
НП	0,1207	0,1039	0,1358	0,05	0,3	0,05
СПАР	0,0290	0,0369	0,0274	0,2	-	0,02
Феноли	0,0056	0,0070	0,0060	0,001	0,001	0,001
Фториди	0,2806	0,2913	0,2364	-	-	0,1-0,15
Cu ²⁺	0,0116	0,0131	0,047	0,001	1	0,002
Zn ²⁺	0,0506	0,0765	0,0509	0,001	1	0,02
Fe, заг	0,234	0,4031	0,1962	0,1	0,3	0,1
Cr ⁶⁺	0,0031	0,0031	0,0030	0,001	0,05	0,005
Mn ²⁺	0,0415	0,0475	0,0419	0,01	0,1	0,05
Ni ²⁺	0,0147	0,0114	0,0155	0,01	0,1	0,01
Co ²⁺	0,0026	0,0306	0,0034			
Al ³⁺	0,0088	0,0098	0,0061			
Cd ²⁺	0,0003	0,0012	0,0002	0,005	0,002	0,0002
Hg ²⁺	0	0,00004	0,000038		0,001	0,0002
Pb ²⁺	0,0109	0,0044	0,0049	0,1	0,03	0,01
Sn ³⁺	0	0	0,0390			

Нафтопродукти належать до найпоширеніших і небезпечних речовин, які забруднюють природні води. Поняття «нафтопродукти» у гідрохімії умовно обмежується лише вуглеводневою фракцією, яка становить 70—90 % від суми всіх речовин, які входять до складу нафти й продуктів її переробки.

Значні кількості нафтопродуктів потрапляють у природні води при перевезенні нафти водним шляхом, із стічними водами промислових підприємств, особливо нафтодобувної та нафтопереробної промисловості, із господарсько-побутовими стічними водами. У результаті процесів випаровування, сорбції, біохімічного та хімічного окислення концентрація нафтопродуктів у воді може суттєво знижуватись. Швидкість цих процесів залежить від складу нафтопродуктів, температурного режиму водного об'єкта, інтенсивності розвитку утилізаційних процесів за участі мікро-

організмів [19].

За підрахунками спеціалістів ООН, Дунай "транспортує" щорічно в Чорне море 206 тис. т нафти, 12 тис. т цинку, 4,5 тис. тонн свинцю, 2,2 тис. т фенолу, 1,5 тис. тонн хрому, 2 тис. тонн миш'яку, 200 тонн кадмію, 80 т ртуті.

Уміст фенолів у воді Дунаю змінювався від 0 (5,37 % проб) до 0,06 (26.06.2003) мг/дм³. ГДК фенолів у водоймах рибогосподарського призначення, господарсько-побутового призначення й гранична межа 3 категорії екологічної оцінки 0,001 мг/дм³. Лише в 11,2 % проб уміст фенолів був нижчим ГДК [17]. Отже, забруднення води Дунаю фенолами за повторюваністю є характерним з дуже високим рівнем [18].

Середньоарифметичні значення фенолів у воді Дунаю зростали з 0,0037 мг/дм³ у 1971-1980 рр. (5 категорія якості – помірно забруднена) до 0,0106 мг/дм³ у 2001-2005рр. (6 катего-

рія якості – сильно забруднена) (табл. 1). З 2006 р. води Дунаю за умістом фенолів є помірно забрудненими.

За фазами водного режиму найвищий уміст фенолів у весняну повінь, найнижчий – у зимову межень (табл. 2).

У природних умовах феноли утворюються при процесах метаболізму водних організмів, при біохімічному окисленні та трансформації органічних речовин, які проходять як у водній товщі, так і в донних відкладах. Вони є одними з найпоширеніших забруднювальних речовин, які надходять у природні води зі стічними водами нафтопереробних, лісохімічних, коксохімічних, лакофарбових, фармацевтичних та інших підприємств. Концентрація фенолів у стічних водах може перевищувати 10–20 г/дм³ [16].

Уміст синтетичних поверхнево-активних речовин у воді Дунаю змінювався від 0 (29,1 % проб) до 0,37 (20.05.1994) мг/дм³. ГДК для водойм рибогосподарського призначення 0,2 мг/дм³. Кількість проб в яких уміст СПАР перевищував ГДК для водойм рибогосподарського призначення складає лише 0,8 %. Забруднення вод Дунаю СПАР є одиночним з низьким рівнем.

За середньоарифметичними показниками **уміст синтетичних поверхнево-активних речовин** у воді Дунаю був найвищим у 1971-1980 рр. – 0,072 мг/дм³ (5 категорія якості - **помірно забруднена**), дещо нижчим у 1991-1995 – 0,044 (4 категорія якості – слабо забруднена) і на рівні 3 категорії якості (досить чиста) в усі інші періоди досліджень.

За фазами водного режиму уміст СПАР у воді Дунаю був найвищим у весняну повінь, найнижчим – у літню

межень, але на рівні показників забруднення 4 категорії якості для усіх фаз водного режиму (табл. 2).

У водні об'єкти СПАР потрапляють у значних кількостях із господарсько-побутовими й промисловими стічними водами. У поверхневих водах СПАР перебувають у розчиненому й сорбованому станах, а також у поверхневій плівці води водного об'єкта.

Уміст фторидів у воді Дунаю змінювався від 0,17 до 0,59 мг/дм³ і був присутнім у всіх пробах води. За середньоарифметичними показниками вмісту фторидів вода річки у всі періоди досліджень відносилась до 5 категорії якості.

Уміст міді у воді Дунаю змінювався від 0 (3,4 % проб) до 0,15 мг/дм³ (16.09.1990). В 93,4 % проб води уміст міді був вищим за ГДК для водойм рибогосподарського призначення, а 83,7 % проб – перевищували граничну межу 3 категорії екологічної оцінки, тобто вода в кращому випадку була слабо забрудненою. Загалом, забруднення води Дунаю Cu^{2+} є характерним з дуже високим рівнем.

За середніми значеннями уміст міді у воді Дунаю в часі зростав з 0,0072 мг/дм³ в 1971-1980 рр. до 0,0144 мг/дм³ в 1991-1995 рр. Пізніше він був значно нижчим ніж у 1991-1995 рр. При цьому вода Дунаю за умістом міді в 1971-1980 і 1996-2010 рр. відносилася до 4 категорії якості (слабо забруднена), а в 1981-1995 рр. – до 5 (помірно забруднена).

Найчастіше надходить мідь у водні об'єкти з стічними водами хімічних і металургійних виробництв, шахтними водами, реагентами, що містять мідь, а також з стічними водами з сільськогосподарських угідь і гірських порід.

Цинк також виявлено у воді річки

Дунай у концентраціях від 0 (1,9 % проб) до $0,532 \text{ мг/дм}^3$ (14.06.1992). Лише в 12,38 % проб уміст цинку був нижчим за ГДК для водойм рибогосподарського призначення, 81,9 % проб мали значення вищі за граничну межу 3 категорії екологічної оцінки ($0,02 \text{ мг/дм}^3$). Забруднення води річки цинком оцінюється як характерне за повторюваністю з дуже високим рівнем.

Якщо розглядати уміст цинку за фазами водного режиму, то дещо вищими є показники для весняної повені, а для зимової й літньої межени значення практично на одному рівні (табл. 2). Слід відмітити, що у всі фази водного режиму вода за умістом цинку відносилася до 5 категорії якості.

Середній уміст Zn^{2+} як і міді у воді Дунаю зростав з $0,0246 \text{ мг/дм}^3$ в 1971-1980 рр. до $0,1242 \text{ мг/дм}^3$ в 1991-1995 рр. Пізніше концентрація цинку у воді Дунаю була значно нижчою (табл. 1).

За середнім умістом цинку у різні періоди досліджень вода річки Дунай у 1971-1990 та 2001-2010 рр. відносилася до 4 категорії якості (слабо забруднена), у 1991-1995 рр. – до 6 категорії якості (сильно забруднена), у 1996-2000 рр. – до 5 категорії якості (помірно забруднена).

Уміст Cr^{6+} у воді Дунаю змінювався від 0 (36,07 % проб) до $0,014 (12.12.2007) \text{ мг/дм}^3$. Концентрації хрому вищі за ГДК для водойм рибогосподарського призначення виявлено в 55,25 % проб, а в 49,7 % проб – значення вищі за межу 3 категорії екологічної оцінки. Забруднення води Cr^{6+} є характерним і високим.

За середніми значеннями вмісту хрому (шестивалентного) у часі вода нижнього Дунаю у 1981-1990 рр. відносилася до 1-2 категорії якості (чиста), у 1991-2005 рр. – до 3 категорії якості

(досить чиста), у 2006-2008 рр. – до 4 категорії якості (слабо забруднена).

За фазами водного режиму середній уміст хрому у воді Дунаю був на одному рівні – $0,003\text{-}0,0031 \text{ мг/дм}^3$, а вода відносилася до 3 категорії якості.

Уміст **загального заліза** у воді Дунаю змінювався від 0 (2,8 % проб) до $5,0 \text{ мг/дм}^3$ (21.05.1968). Концентрацію заліза у воді від 0 до $0,1 \text{ мг/дм}^3$ мали 39,3 % проб, від $0,1$ до $0,2 \text{ мг/дм}^3$ – 23,24 % проб, від $0,2$ до $0,3$ – 14,08 % проб. Концентрацію заліза вищу за 1 мг/дм^3 мали 3,87 % проб води Дунаю.

При цьому, 41,2 % проб мали значення нижчі за ГДК для водойм рибогосподарського призначення та за граничну межу 3 категорії екологічної оцінки. Найвищий уміст заліза у воді Дунаю припадає на тривалий період з 29.10.1988 р. по 13.05.1993 р. Окремі одиниці високі концентрації заліза у воді річки характерні практично для всього періоду досліджень. Загалом, рівень забруднення води Дунаю загальним залізом є характерним і високим.

Середній уміст заліза у воді Дунаю зростав від $0,224 \text{ мг/дм}^3$ у 1949-1960 рр., $0,2$ – у 1961-1970 рр., до $0,412 \text{ мг/дм}^3$ у 1991-1995 рр. У пізніший період середній уміст заліза у воді Дунаю значно знизився і не перевищував $0,356 \text{ мг/дм}^3$. За середнім умістом загального заліза вода Дунаю у 1949-2010 рр. відносилася до 4 категорії якості (слабо забруднена).

За фазами водного режиму вода Дунаю за середнім умістом загального заліза найбільш чистою була у літню межені ($0,1962 \text{ мг/дм}^3$), найбільш брудною – у весняну повінь ($0,4031 \text{ мг/дм}^3$).

Уміст **марганцю** у воді Дунаю змінювався від 0 (2,68 % проб) до $0,6778 \text{ мг/дм}^3$ (2.06.2007 р.). Лише

22,8 % проб мали значення нижчі за ГДК для водойм рибогосподарського призначення, а 69,3 % проб – за граничну межу 3 категорії екологічної оцінки. Загалом, рівень забруднення води марганцем є характерним і дуже високим для Дунаю.

Середній уміст *марганцю* у воді Дунаю мав значні коливання в часі і змінювався від 0,0062 мг/дм³ у 1971-1980 рр. до 0,0734 мг/дм³ у 2006-2008 рр. (табл. 6.7). За середнім умістом марганцю вода Дунаю у 1971-1980 рр. відносилася до 1-2 категорії якості (чиста), пізніше з 1991 по 2005 рр. – до 3 категорії якості, а в 1981-1990 та 2006-2010 рр. – до 4 категорії якості (слабо забруднена).

За фазами водного режиму вода Дунаю за середнім умістом марганцю як і хрому суттєвої різниці не мала і відносилася до 3 категорії якості.

Уміст нікелю у воді Дунаю змінювався від 0 (35,1 % проб) до 0,054 (6.11.1987) мг/дм³. Концентрації нікелю вищі за ГДК для водойм рибогосподарського призначення й значення вищі за межу 3 категорії екологічної оцінки води виявлено в 46,4 % проб. Це свідчить, що забруднення води Дунаю нікелем є стійким за повторюваністю й середнім за рівнем (перевищення ГДК в 2-10 раз [18]).

Середні значення вмісту нікелю у воді нижнього Дунаю є стабільними у часі і вода у всі періоди досліджень відносилася до 4 категорії якості (слабо забруднена).

За фазами водного режиму середній уміст нікелю у воді Дунаю був найвищим у літню межень, найнижчим – у весняну повідь (табл. 2), а вода у всі фази відносилася до 4 категорії якості.

Уміст свинцю у воді Дунаю змінювався від 0 (61,6 % проб) до 0,05 (29.10.1988) мг/дм³. Концентрації хро-

му вищі за ГДК для водойм рибогосподарського призначення у воді Дунаю не виявлено, а значення вищі за межу 3 категорії екологічної оцінки води виявлено в 21,6 % проб.

Середні значення вмісту свинцю у воді нижнього Дунаю є стабільними у часі і вода у всі періоди досліджень відносилася до 3 категорії якості.

За фазами водного режиму середній уміст свинцю у воді Дунаю був найвищим у зимову межень 0,0109 мг/дм³ (4 категорія якості), найнижчим – у весняну повідь – 0,0044 та 0,0049 мг/дм³ у літню межень (3 категорія якості).

Уміст *алюмінію* у воді Дунаю змінювався від 0,00087 (9.08.1980) до 0,55 мг/дм³ (7.07.1987). Уміст алюмінію у воді не нормується.

Середній уміст *алюмінію* у воді Дунаю постійно зростав від 0,0059 мг/дм³ у 1971-1980 рр. до 0,0234 мг/дм³ у 2006-2010 рр.

За фазами водного режиму вода Дунаю за середнім умістом алюмінію була найвищою у весняну повідь, найнижчою – у літню межень (табл. 2).

Уміст *кадмію* у воді Дунаю змінювався від 0,00032 до 0,0064 мг/дм³. При цьому, 6,27 % проб води мали концентрацію кадмію вищу за ГДК для водойм рибогосподарського призначення. Отже, забруднення води Дунаю кадмієм є одиночним за повторюваністю і низьким за рівнем.

Середньоарифметичні значення вмісту кадмію у воді Дунаю постійно зростали (табл. 1), а вода у період 1981-2000 рр. відносилася до 5 категорії якості, а в 2001-2010 рр. – до 6 категорії якості. За фазами водного режиму вода Дунаю за вмістом кадмію є значно менш забрудненою у літню й зимову межень у порівнянні з весняною повінню.

Уміст *ртуті* у воді Дунаю змінювався від 0 до 0,0002 мг/дм³, що не перевищувало межі 3 категорії якості. За середнім умістом ртуті вода Дунаю у всі періоди досліджень відносилася до 1-2 категорії якості – чиста.

Крім того, при одиночних не періодичних аналізах у воді Дунаю виявляли уміст олова від 0 до 0,3 мг/дм³, титану – 0-0,4 мг/дм³, срібла – 0-0,0005 мг/дм³, ванадію – 0-0,0063 мг/дм³, молібдену –

0-0,03 мг/дм³. Але низька періодичність відбору проб на зазначені аналізи й недостатня кількість даних не дозволяють більш детально характеризувати стан забруднення води Дунаю за зазначеними вище інгредієнтами.

За даними Мірошніченко [10] важкі метали вод Дунаю мають наступні основні характеристики, що впливають на фазове розподілення (табл. 3).

Таблиця 3 Біогеохімічні властивості важких металів

Властивості	Fe	Mn	Cu	Ni	Zn
Біохімічна активність	В	В	В	П	В
Токсичність	Н	П	П	П	П
Мінеральна форма поширення	В	П	Н	Н	Н
Органічна форма поширення	В	В	В	В	В
Тенденція до біоконцентрування	В	В	П	В	П
Розчинність сполук	П	П	В	П	В
Здібність до комплексоутворення	В	П	В	Н	В

В – висока, П – помірна, Н – низька [10,11]

Частина проб води р. Дунай містила залишки хлорорганічних і фосфорорганічних *пестицидів* або продукти їх розкладання – метаболіти, у кількостях значно нижчих за ГДК. Так, уміст α -ГХЦГ у Дунаї змінювався від 0 до 0,000141 мг/дм³, γ -ГХЦГ – від 0 до 0,000117 мг/дм³, ДДТ – від 0 до 0,000672 мг/дм³, ДДЄ – від 0 до 0,00008 мг/дм³, ліндану – від 0 до 0,000036 мг/дм³. При цьому в 62-69,4 % проб взагалі не виявлено умісту пестицидів.

За середньоарифметичним умістом залишків пестицидів вода Дунаю у всі періоди досліджень відносилася до 3 категорії якості – досить чистої [5].

Вміст *радіонуклідів* у воді річки Дунай коливався в межах значень останніх років і був близьким до передаварійних рівнів (табл. 6.7). Концентрація стронцію-90 у поверхневих

водах Дунаю до 1986 року становила 10-15 Бк/м³. Середня концентрація стронцію-90 й цезію-137 у дунайській воді у створі м. Кілія в 2009 р становила відповідно 10,9 та 1,4 Бк/м³.

Розрахунок *індексу забруднення води* (ІЗВ) проводиться за обмеженим числом інгредієнтів. Визначається середнє арифметичне значення результатів хімічних аналізів по кожному з таких показників: азот амонійний, азот нітритний, нафтопродукти, феноли, розчинений кисень, біохімічне споживання кисню. Знайдене середнє арифметичне значення кожного з показників порівнюється з гранично допустимими концентраціями. При цьому у випадку розчиненого кисню величина гранично допустимої концентрації ділиться на знайдене середнє арифметичне значення концентрації кисню, тоді як

для інших показників це робиться навпаки.

Розрахунок ІЗВ, за обмеженим числом інгредієнтів дав наступні результати: 1971-1980 рр. – 2,426, 1981-1990 рр. – 2,482 (3 клас, вода помірно забруднена), 1991-1995 рр. – 2,595 (4 клас, вода забруднена), 1996-2000 рр. – 1,645, 2001-2005 рр. – 2,494, 2006-2010 рр. – 1,09 (3 клас, вода помірно забруднена) (див. табл. 6.5, 6.6). Отже, вода річки Дунай за індексом забруднення, протягом 1971-1990 і 1996-2010 рр. знаходилася під значним антропогенним впливом, рівень якого близький до межі стійкості екосистеми, а в період

1991-1995 рр. – вода мала порушені екологічні параметри, а екологічний стан оцінювався як екологічний регрес.

Загальна оцінка води Нижнього Дунаю *за всією множиною показників* (за так званою функцією міри R, [18]) наведена у табл. 4 і свідчить, що вода у всі періоди досліджень відносилась до 4 категорії якості – задовільна.

Необхідно відмітити, що сольовий склад води Дунаю охарактеризовано в роботі [8], трофо-сапробіологічні показники – в роботі [9]. Таблиця 4 цієї статті є узагальненням всього матеріалу по Дунаю.

Таблиця 4. Загальна оцінка якості води за всією множиною показників

Категорії якості води	Кількість показників відповідної категорії та загальна оцінка якості води					
	1971-1980	1981-1990	1991-1995	1996-2000	2001-2005	2006-2010
1	2	1	1	3	1	1
2	6	8	6	6	6	7
3	5	5	6	6	9	6
4	5	4	3	4	4	7
5	7	5	5	6	4	4
6	1	4	3	2	4	2
7	1	1	3	1	0	1
8	1	0	1	0	0	0
Загальна оцінка R	3,75	3,71	4,11	4,07	3,57	3,57

Висновки

1. Середній найвищий *уміст нафтопродуктів* у воді Дунаю був у 1991-1995 рр. і становив 0,308 мг/дм³ (7 категорія якості, брудна), у 1971-1980 рр. – 0,25 мг/дм³ (6 категорія якості, сильно забруднена), у 1981-1990 рр. – 0,108 мг/дм³ (5 категорія якості, помірно забруднена), у 1996-2000 рр. – 0,057 (4 категорія якості, слабо забруднена), у 2001-2010 рр. – 0,039-0,017 мг/дм³ (3 категорія якос-

ті, досить чиста). Отже, починаючи з 1996 р стан води Дунаю щодо забруднення нафтопродуктами постійно покращується.

2. Забруднення води Дунаю *фенолами* за повторюваністю є характерним з дуже високим рівнем. Середньоарифметичні значення фенолів у воді Дунаю зростали з 0,0037 мг/дм³ у 1971-1980 рр. (5 категорія якості – помірно забруднена) до 0,0106 мг/дм³ у 2001-2005рр. (6

категорія якості – сильно забруднена). З 2006 р. води Дунаю за умістом фенолів є помірно забрудненими. За фазами водного режиму найвищий уміст фенолів у весняну повінь, найнижчий – у зимову межень.

3. За середньоарифметичними показниками **уміст синтетичних поверхнево-активних речовин** у воді Дунаю був найвищим у 1971-1980 рр. – 0,072 мг/дм³ (5 категорія якості – помірно забруднена), нижчим у 1991-1995 – 0,044 (4 категорія якості – слабо забруднена) і на рівні 3 категорії якості (досить чиста) в усі інші періоди досліджень. За фазами водного режиму уміст СПАР у воді Дунаю був найвищим у весняну повінь, найнижчим – у літню межень, але на рівні показників забруднення 4 категорії якості для усіх фаз водного режиму. Загалом, виходячи з встановленого в Україні ГДК, забруднення вод Дунаю СПАР є одиночним з низьким рівнем.

4. За середньоарифметичними показниками вмісту **фторидів** вода річки Дунай у всі періоди досліджень відносилась до 5 категорії якості. Уміст фторидів, фенолів, СПАР був вищий у фазу водного режиму – весняна повінь

5. Забруднення води Дунаю **важкими металами** (Cu^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{3+} , Cr^{6+} , Mn^{2+}) є характерним з високим і дуже високим рівнем. Вода майже у

всі періоди досліджень характеризується як слабо та помірно забруднена (4-5 категорії якості). У весняну повінь вищі концентрації ніж в інші фази водного режиму таких важких металів як залізо, кобальт, олово, кадмій, алюміній, влітку – олова, взимку – свинцю.

6. За середньоарифметичним умістом залишків **хлорорганічних пестицидів** вода Дунаю у всі періоди досліджень відносилась до 3 категорії якості – досить чистої.

7. За **індексом забруднення** вода річки Дунай, протягом 1971-1990 та 1996-2010 рр. була помірно забрудненою (3 клас) і знаходилась під значним антропогенним впливом, рівень якого близький до межі стійкості екосистеми, а в період 1991-1995 рр. – вода була забрудненою (4 клас) й мала порушені екологічні параметри, а екологічний стан оцінювався як екологічний регрес.

Загальна оцінка води Нижнього Дунаю **за всією множиною показників** (за так званою функцією міри R, [22]) свідчить, що вода у всі періоди досліджень відносилась до 4 категорії якості – задовільна.

Отже, за багатьма показниками забруднення вода Дунаю знаходиться під значним антропогенним впливом, рівень його близький до межі стійкості системи.

Література

1. Александров Б.Г., Зайцев Ю.П., Воробьева Л.В. и др. Экосистема взморья украинской дельты Дуная. – Одесса: Астропринт, 1998. 329 с.
2. Алмазов А.М. Гидрохимия устьевых областей рек: Сев. Причерноморье. К., Изд-во Академии наук Укр. ССР, 1962. 255 с.
3. Біорізноманітність Дунайського біосферного заповідника, збереження та управління // Під ред. Ю.Р. Шеляга-Сосонка. Київ. Наукова думка, 1999. 704 с.
4. Жежеря В. А. Особенности миграции алюминия в поверхностных водах с повышенным содержанием гумусовых веществ: натурные и экспериментальные исследования/ Же-

- жеря В. А., Лінник П. М. // Экологическая химия – 2010. – №19(4). – С.213-228.
5. Екологічна оцінка якості поверхневих вод суші та естуаріїв України: Методика. КНД 211.1.4.010.94.-К., 1994, - 37 с.
 6. Левашова Е.А., Михайлов В.Н., Михайлова М.В. Естественные и антропогенные изменения стока воды и наносов в устье Дуная // Водные ресурсы.- 2004. – 31, № 3.- С.261-272.
 7. Лозовіцький П.С. Гідрохімічна характеристика і іригаційна оцінка води основних джерел зрошення півдня України // Меліорація і водне господарство, К, 1997. Вип. 84, С. 71-83.
 8. Лозовіцький П.С., Молочко А.М., Бібік В.М., Лозовіцький А.П., Молочко М.А. Екологічна оцінка якості вод Дунаю // Часопис картографії. Вип. 1. 2011. С. 135-148.
 9. Лозовіцький П.С. Трофо-сапробіологічні показники води р. Дунай – м. Кілія. // Меліорація і водне господарство. 2013. Вип. 100. С. 84-99.
 10. Мірошніченко О. П. Фізико-хімічні особливості міграції важких металів в поверхневих водах та донних відкладах української частини р. Дунай. Людина та довкілля. Проблеми неоекології. № 3-4, 2011. С.123-129.
 11. Михайлов В. Н., Повалишникова Е. С. и др. Многолетние изменения уровней воды в Килийском рукаве дельты Дуная // Водн. ресурсы. – 2001. – 28, № 2. – С. 189-195
 12. Михайлов В. Н. Баланс наносов в устье Дуная // Водные ресурсы. 2001. Т. 28. № 2. С.202-207.
 13. Мур Дж. Тяжелые металлы в природных водах: Контроль и оценка влияния/ Дж. Мур, С. Рамамурти; [Пер. с англ.].– М.:Мир, 1987. – 288 с.
 14. Обобщенный перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней (ОБУВ) вредных веществ для воды рыбохозяйственных водоемов. Москва, 1990 г.
 15. Поліщук В.В., Шега В.В. Історична біографія Дунаю або нагальні проблеми сьогодення у світлі особливостей великої європейської річки. Укр. Міжнародна академія оригінальних ідей. – К., 1998. 680 с.
 16. Романенко В.Д., Поліщук В.В. та ін. Екологічні проблеми басейну Дунаю в межах України. Гідроекологічне товариство України. К., 1996. 360 с.
 17. Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения. СанПиН № 4630–88. Министерство здравоохранения СССР, Москва, 1988 г.
 18. Сніжко С.І Оцінка та прогнозування якості природних вод: Підручник. - К.: Ніка-Центр, 2001. – 264 с.:іл.
 19. Харченко Т.А., Тимченко В.М., Ковальчук А.А. и др. Гидроэкология украинского участка Дуная и сопредельных водоемов. – К.: Наук. думка, 1993. – 328 с.
 20. Rengasany P. // Agr. Water Vonog, 1987, 12. 207.