

РУХЛИВІСТЬ ВОД І САМООЧИСНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ВОДОЙМ ТА ВОДОТОКІВ УКРАЇНИ

* В. М. Тімченко, ** Н. І. Кушнір, ** Н. О. Іванова, ** Ю. О. Лахай

*Ін-т гідробіології НАН України

**Національний авіаційний університет

timol@iptelecom.net.ua

Розглянуто вплив динаміки вод на інтенсивність процесів самоочищення різних типів водних об'єктів України.

The influence of water dynamics into intensity of self-clarification processes of different water objects types is considered.

Постановка проблеми

Рухливість водних мас відіграє важливу роль у самоочищенні водних об'єктів (водойм і водотоків), тобто у фізико-хімічних, мікробіологічних і гідробіологічних процесах, що ведуть до відновлення їхнього фоновому стану. Вона істотно прискорює розведення забруднювальних речовин, їхній розпад, нейтралізацію, гідроліз тощо. Пошук шляхів кількісного обліку впливу рухливості води на її якість є актуальним завданням.

Аналіз досліджень і публікацій

Рухливість водних мас — багатфакторне явище і тому виробити єдиний кількісний показник для її оцінки складно. Водночас, цілком закономірне прагнення дослідників мати хоча б орієнтовну характеристику рухливості водного середовища, застосування якої давало б змогу зіставляти гідродинамічні умови в різних місцях або за різні проміжки часу.

Найчастіше використовують такий показник, як швидкість течії. Саме швидкість течії є обов'язковим аргументом у кожній з існуючих моделей оцінки самоочисного потенціалу природних і техногенних водних об'єктів. Відомо, наприклад, що так званий узагальнений коефіцієнт трансформації забруднювальних речовин у потоці $K_d / K_{ст}$ [1; 2] нелінійно залежить від середньої швидкості течії [3]:

$$K_d / K_{ст} = v (0,0031 + 0,0348 v)^{-1},$$

де $K_{ст}$ — коефіцієнт біохімічного окислювання речовини в нерухомому водному середовищі; K_d — динамічна складова коефіцієнта; v — середня швидкість потоку, м/с.

Методичні положення

Дослідження режиму течій у водотоках і водоймах зазвичай здійснюється трьома шляхами.

Першим з них є натурні заміри швидкості й напрямку течій за допомогою спеціальних приладів і пристосувань.

Другим — використання для розрахунку параметрів течій зв'язків, заснованих на емпірич-

них співвідношеннях або теоретичних гідродинамічних законах.

Третім є застосування методів фізичного моделювання.

Досить широко застосовується оцінювання режиму течій шляхом натурних замірів. До основних її переваг належить можливість оцінювання сумарного ефекту всього набору течій, що діють у момент спостереження у будь-якій точці водного об'єкта. Результати натурних досліджень є вихідною інформацією для розробки розрахункових методів.

До розрахункових методів належить сукупність аналітичних та емпіричних прийомів, формул і способів. На основі часткових рішень розроблені й застосовуються математичні моделі, що дають змогу розкривати загальну картину циркуляції вод у водоймах за певних гідрометеорологічних умов. Більшість завдань, пов'язаних з оцінкою впливу течій на функціонування екосистем водойм України, цілком вірогідно вирішуються під час використання методу повних потоків у тому вигляді, у якому він наведений для випадку малих глибин [4].

Результати дослідження та їх обговорення

На водних об'єктах України гостро стоїть проблема оцінювання впливу рухливості водного середовища, зокрема швидкісного режиму, на самоочисні можливості їх екосистем. Нижче наведено результати досліджень на різних за генезисом й типом водних об'єктах регіону: річковій (київській) ділянці Дніпра, Сасикському водосховищі, озері Світязь і штучно створеній правобережній затоці Дніпра в районі м. Українки.

Основним видом течій на київській ділянці Дніпра (рис. 1) є градієнтні або стокові, зумовлені попусками Київської ГЕС і стоком Десни. У певних умовах можуть формуватися вітрові течії, хвильові знакозмінні переміщення водних мас, турбулентне й адвентивне перемішування шарів води й інші види руху. Однак вони не є визначальними.

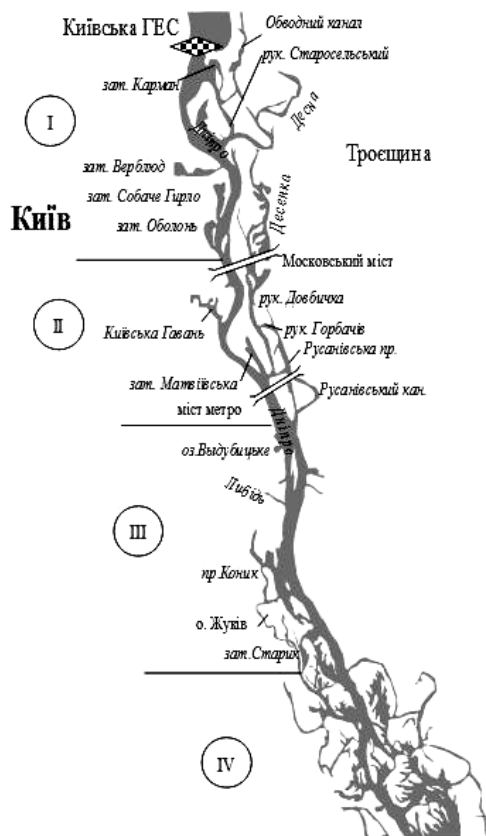


Рис. 1. Схема кийвської ділянки Дніпра:
I-IV — підділянки

За рахунок нерівномірних попусків Київської ГЕС протягом діб та тижнів на зазначеній ділянці Дніпра більшу частину року (крім весняного водопілля) спостерігається несталый режим стоку, що обумовлює складні імпульсно-стабілізовані умови функціонування його екосистеми.

Кращим варіантом для оцінювання динамічної активності водної маси в певному місці (точці, зоні, ділянці й т.д.) могло б бути безпосереднє вимірювання параметрів течій у натурних умовах. По можливості такі заміри проводяться. Вони дають перше загальне уявлення про порядок величин швидкостей течій саме в момент замірів. Однак для статистично обґрунтованої характеристики динамічних умов необхідний великий обсяг даних спостережень.

Ні з технічної, ні з економічної позицій тривалі, статистично необхідні спостереження за режимом переміщення води в точці або в певній зоні кийвської ділянки Дніпра нереальні. У такому разі правомірним є звернення до розрахункових методів оцінювання рухливості водного середовища.

Найпростішим способом кількісної оцінювання швидкісного режиму можна вважати побудову залежності середньої швидкості течії в заданому створі ($v_{\text{сер}}$) від витрати води (Q):

$$v_{\text{сер}} = Q \omega^{-1},$$

де ω — площа поперечного перерізу потоку.

У періоди, коли Київська ГЕС не здійснює попуски, витрати води Дніпра вище гирла Десни практично близькі до нуля. Стокові течії на цій підділянці відсутні. Нижче гирла Десни стокові течії визначаються винятково водністю цієї ріки. Мінімальна витрата Десни становить приблизно 150—200 м³/с. Такий приплив створює вкрай малий ухил водної поверхні на ділянці Дніпра біля Києва — приблизно $2,5 \cdot 10^{-8}$, тобто 0,025 мм/км. Середня швидкість течії на ділянці не перевищує 0,03—0,06 м/с. Під час роботи агрегатів Київської ГЕС на досліджуваній ділянці в сучасних умовах витрати води в літньо-осінній період підвищуються до 2000—3000 м³/с. Середні швидкості можуть досягати 0,4—0,9 м/с.

У табл. 1 наведено розраховані значення середніх швидкостей течії на кожному з десятикілометрових підділянок Дніпра біля Києва при реально можливих витратах води.

Дані табл. 1 можна використати для визначення інтенсивності динамічної складової самоочисного потенціалу досліджуваної ділянки Дніпра. Розраховані за формулою (1) співвідношення $K_d / K_{\text{ст}}$ (табл. 2) свідчать про досить широкі можливості регулювання самоочисних здатностей основного русла Дніпра в районі Києва попусками Київської ГЕС. При цьому варто мати на увазі ту обставину, що навіть при невеликих попусках ГЕС самоочисний потенціал основного русла Дніпра в районі Києва досить високий порівняно з непроточними водоймами.

Таблиця 1

Середні за поперечним перерізом швидкості течії (м/с) в основному руслі Дніпра в районі Києва (нумерація підділянок від греблі Київської ГЕС)

Підділянки	Площа поперечного перерізу, м ²	Середня швидкість при витратах води, які дорівнюють (м ³ /с)					
		200	500	1000	3000	4000	5000
I	3906	0,051	0,128	0,26	0,77	1,02	1,28
II	4225	0,046	0,118	0,24	0,71	0,95	1,18
III	6480	0,030	0,077	0,15	0,46	0,62	0,77
IV	3300	0,060	0,152	0,30	0,91	1,21	1,52

Узагальнений коефіцієнт трансформації забруднювальних речовин ($K_d/K_{ст}$) на київській ділянці Дніпра при різних попусках Київської ГЕС

Підділянки	Ступінь посилення самоочисного потенціалу $K_d/K_{ст}$ при витратах, рівних, м ³ /с					
	200	500	1000	3000	4000	5000
I	10,4	16,9	21,4	25,8	26,4	26,9
II	9,6	16,3	21,0	25,5	26,2	26,7
III	7,2	13,3	18,0	24,0	25,1	25,8
IV	11,5	18,1	22,1	26,0	26,8	27,1

Дані табл. 1 можуть слугувати вихідною матрицею для оцінювання впливу інтенсивності попусків Київської ГЕС на біотичну компоненту досліджуваної ділянки Дніпра. Так, швидкості течії на досліджуваній ділянці, що лімітують для розвитку діатомових водоростей, виникають при попусках інтенсивністю понад 2500 м³/с, для зелених — більше 1600 м³/с, синьо-зелених — понад 500 м³/с.

Критичними, тобто такими, що пригнічують нагромадження синьо-зелених водоростей, які викликають «цвітіння» води, є попуски з витратами понад 4000 м³/с.

У зв'язку з обмеженим об'ємом припливу поверхневих вод у великі озера й закриті лимани України, у них майже відсутні стокові течії. Локальні прояви цього виду руху водних мас мають місце на обмежених ділянках водойм, які примикають до гирл рік, що в них впадають.

Так, наприклад, у Сасикському водосховищі (колишньому озері-лимани) в гирлі каналу Дунай-Сасик, яке подає до 100 м³/с дунайської во-

ди, швидкість стокової течії знижується від 40—60 до 2—5·10⁻² м/с уже на відстані 50—100 м.

Основним видом течій у водоймах є вітрові. Ці течії, які генеруються дотичною напругою повітряного потоку на водну поверхню, захоплюють не тільки поверхневі, але й більш глибокі шари водної товщі. У замкнених водоймах формуються протилежно спрямовані градієнтні течії. В остаточному підсумку, формуються так звані циркуляції, які відіграють значну роль у водообміні усередині водойми, перемішуванні води, розподілі тепла, суспензій, розчинів і гідробіонтів по акваторії.

Розраховані шляхом математичного моделювання циркуляції вод у вище згаданому Сасикському водосховищі (рис. 2) дозволили оцінити номінальну рухливість водних мас а, отже, скласти уявлення про самоочисну здатність цієї водойми.

Тільки за рахунок вітрових течій, найбільш імовірна швидкість яких становить 2—10·10⁻² м/с, інтенсивність трансформації забруднювальних речовин у Сасикському водосховищі приблизно в 5—15 разів більша, ніж у нерухомій воді.

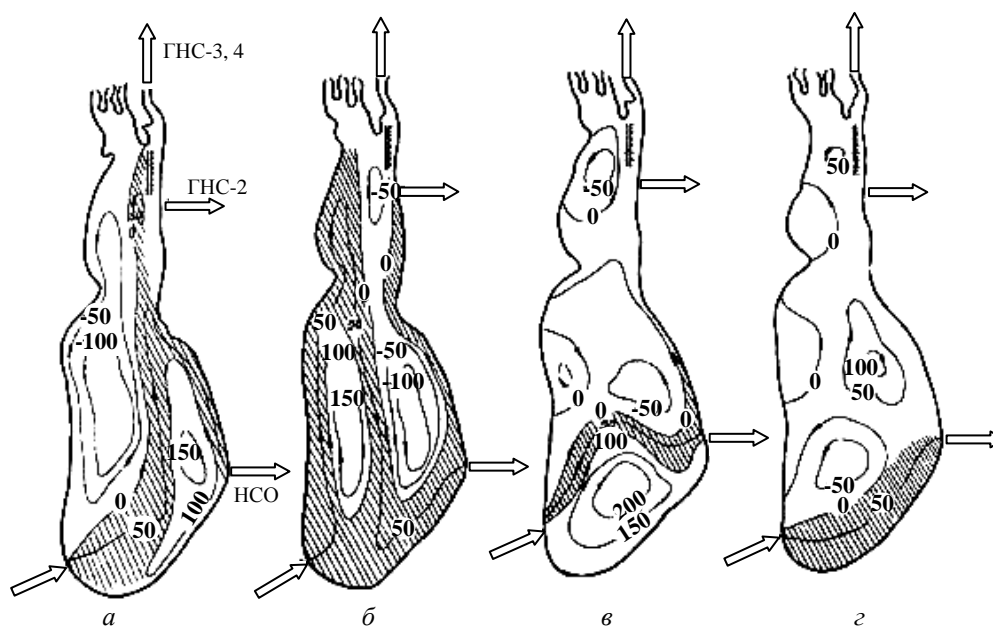


Рис. 2. Схеми течій (функції течії) у Сасикському водосховищі під час роботи каналу Дунай-Сасик і всіх насосних станцій:
а — північний; б — південний; в — східний; з — західний
(заштриховано зони розподілу дунайської води)

Вплив рухливості водних мас на їхні самоочисні можливості дає змогу оцінювати останні не тільки в цілому для водного об'єкта, але й для окремих його ділянок і зон. На рис. 3 як приклад подано схему районування водної поверхні Сасикського водосховища за узагальненим коефіцієнтом трансформації забруднювальних речовин ($K_d / K_{ст.}$). Розглянуто ситуацію, коли відсутній відтік і приплив води ззовні.

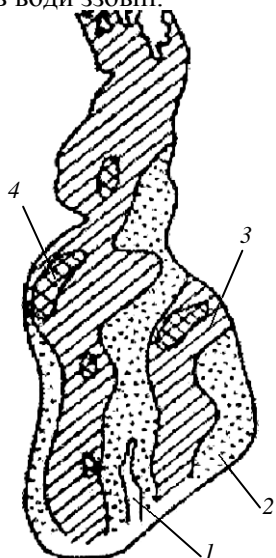


Рис. 3. Районування самоочисної здатності Сасикського водосховища:
1 — значення коефіцієнта трансформації ($K_d/K_{ст.}$) у діапазоні 0–5; 2 — 5–10; 3 — 10–15 й 4 — більше 15 (вітер північний 5 м/с)

На нашу думку, подібне графічне подання показників самоочисної здатності водойм має гарні перспективи застосування в екології водойм.

У малопроточній водоймі — озері Світязь, де зміна води відбувається один раз на дев'ять років [5], досить активна рухливість водних мас у безльодоставний період забезпечується винятково за рахунок вітрових течій. Як правило, переміщення захоплює верхні (до 10–12 м) шари. Нижче, у зв'язку з формуванням у літній період термокліну, рухливість вод різко знижена. При найбільш імовірному західному вітрі (рис. 4) в активному шарі переважають швидкості течії $3\text{--}7 \cdot 10^{-2}$ м/с. У верхньому (до 0,5 м) шарі водні маси переміщуються при цьому зі швидкістю до $15\text{--}20 \cdot 10^{-2}$ м/с.

У штучно створеній правобережній затоці Канівського водосховища в районі міста Українка, де розташована спортивна база Національного авіаційного університету (затока НАУ), циркуляція вод також залежить значною мірою від вітрового впливу на водну поверхню безпосередньо в самій водоймі. Вид циркуляції вод у затоці визначається напрямком вітру (рис. 5). Так, при північному вітрі формується дві циклональні циркуляції у східній та західній частинах затоки. При посиленні вітру стає помітною буферна антициклональна течія між циркуляціями. Аналогічна ситуація формується при південному вітрі, коли у водоймі між двома антициклональними циркуляціями з'являється циклональна течія.

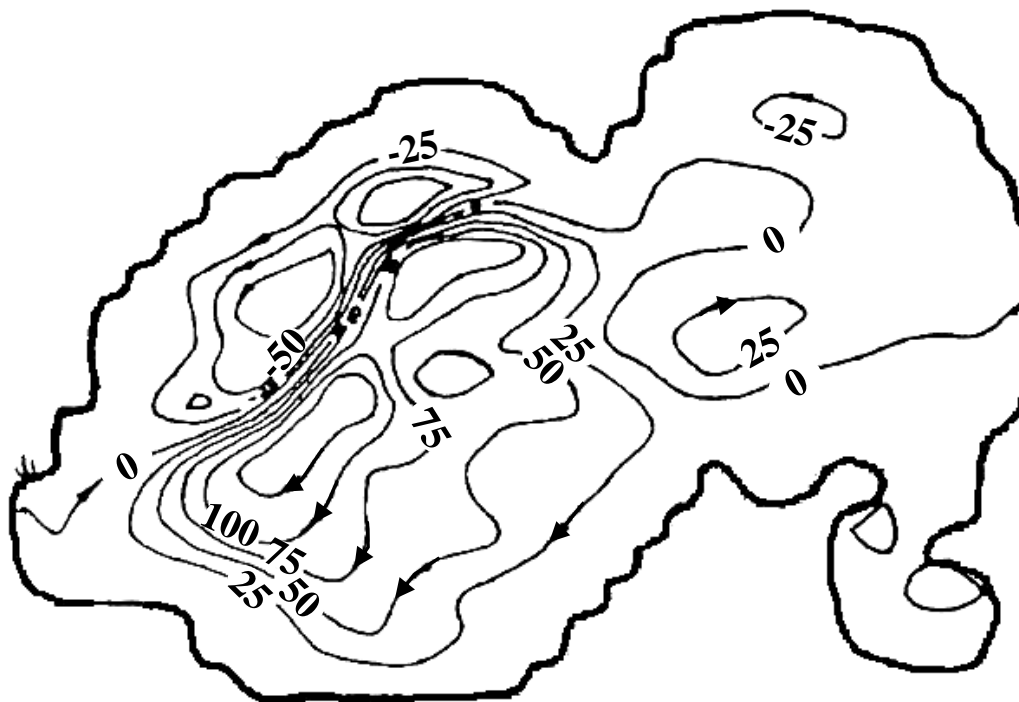


Рис. 4. Схема циркуляції вод в озері Світязь при західному вітрі швидкістю 5 м/с

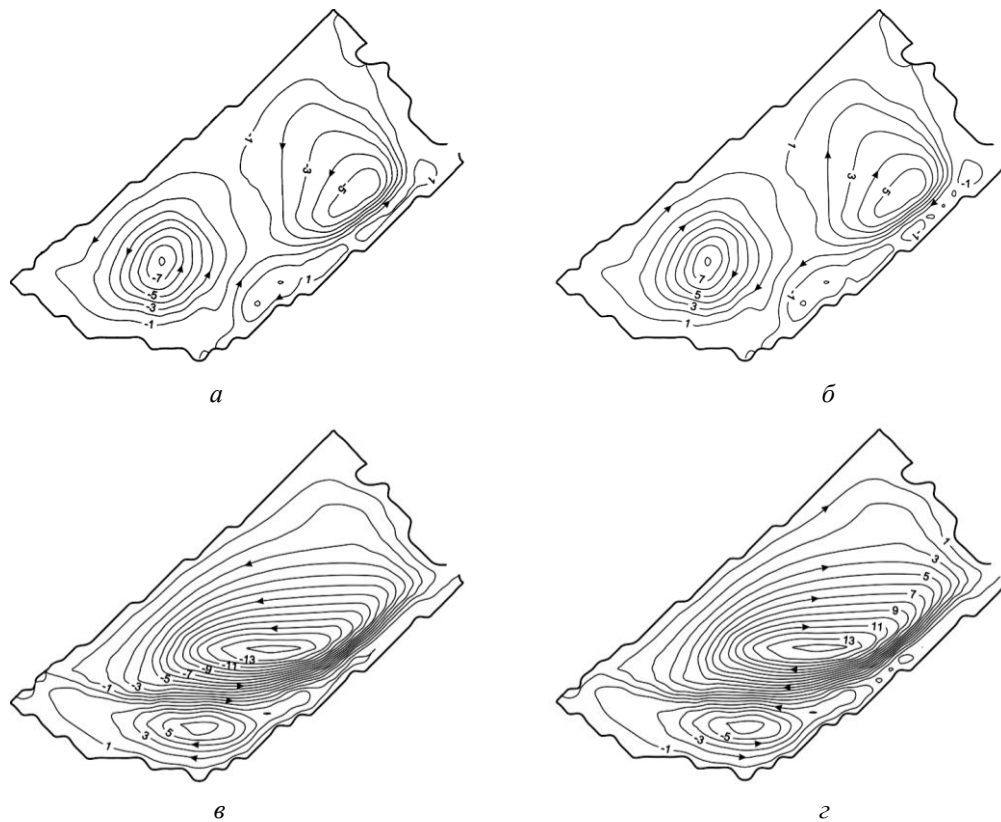


Рис. 5. Циркуляція вод (функції водотоку) в затоці НАУ при швидкості вітру 3 м/с північного (а), східного (б), південного (в) та західного (г) напрямків

При найбільш вірогідному в певній місцевості вітрі 3 м/с західного напрямку найбільш повторюваною є циркуляція, проілюстрована на рис. 5, г, за якої в північній частині водойми формується великий циклональний вихор з інтенсивністю переміщення вод до $13 \text{ м}^3/\text{с}$, а в південній — значно менше антициклональне поле з витратою лише $5 \text{ м}^3/\text{с}$.

Типовою для вітрових течій в затоці НАУ є швидкість $0,005\text{—}0,05 \text{ м/с}$, що забезпечує 2—10 разове посилення самоочисної спроможності екосистеми затоки.

Висновок. Дослідження взаємодії гідродинамічних та самоочисних процесів на різномісних водних об'єктах України показує, що динаміка вод відіграє значну роль у формуванні якості води і стану водних екосистем. Ступінь посилення самоочисного потенціалу водотоків та водойм за рахунок рухомості їх водних мас може сягати 26 разів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Бородавченко І. І. Охрана водных ресурсов / И. И. Бородавченко, Н. В. Зарубаев, Ю. С. Васильев и др. — М. : Колос, 1979. — 247 с.
2. Вельнер Х.А. Регулирование качества и количества природных вод / Лекции на гидрологических курсах ЮНЕСКО при МГУ. — Обнинск, 1970.
3. Лаврик В. И. Экологическая емкость и ее количественная оценка / В. И. Лаврик, А. И. Мережко, Л. А. Сиренко, В. М. Тимченко // Гидробиологический журнал, 1991. — № 3. — С. 13—23.
4. Фельзенбаум А. И. Динамика морских течений / Итоги науки. Механика. Гидромеханика / А. И. Фельзенбаум — М. : ВИНТИ, 1970. — С. 97—339.
5. Тимченко В. М. Экологические аспекты гидрологии Шацких озёр / В. М. Тимченко, А. Е. Ярошевич, Ю. Л. Виденина, С. М. Безродная // Гидробиол. журн., 1994. — № 4. — С. 59—71.

Стаття надійшла до редакції 28.10.09.