

Определение водных ресурсов рек Псел и Ворскла с учетом влияния подстилающей поверхности на базе модели «климат-сток»

Лобода Н.С., Пилипюк В.В.

Работа посвящена расчетам норм речного стока рек Псел и Ворскла по метеорологическим данным, что является важным при оценке водных ресурсов в условиях смены климата. Расчеты естественного годового стока выполнены на основе модели «климат-сток» на базе уравнения водно-теплового баланса. Путем сопоставления естественного и рассчитанного по модели годового стока с малых и средних водосборов установлены переходные коэффициенты от норм климатического (зонального) стока к естественному. Разработаны уравнения, по которым можно определить коэффициенты перехода в зависимости от площади водосбора.

Ключевые слова: водно-тепловой баланс, климатический сток, природный сток, коэффициенты влияния подстилающей поверхности

Determination of water resources of Psel and Vorskla rivers with accounting of influence of underlying surface on the basis of «climate- runoff» model

Loboda N.S., Pilipuk V.V.

The paper is devoted to the calculations of the river runoff norms based on meteorological data. This is important for evaluation of water resources under conditions of climate change. Calculations of natural river runoff is executed using the model «climate- runoff» on the basis of the equation of water-heat balance. Transition coefficients from norms of climatic (zonal) to the natural runoff were determined (by means of comparison of the natural and calculated annual runoff from small and medium watersheds). Equations for determination of the transition coefficients dependant on the watershed area were created.

Keywords: water-heat balance, climatic runoff, natural runoff, underlying surface influence coefficient.

Надійшла до редколегії 21.04.2015

УДК 556.556 (477.41)

Батюг С. В.

Інститут гідробіології НАН України

ГІДРОДИНАМІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВОДОЙМ м. КИЄВА

Ключові слова: внутрішній водообмін; течії; перемішування; хвильові процеси, коливання рівня води.

Вступ. Гідродинамічні явища нарівні з гідрохімічними, гідробіологічними процесами та з антропогенним впливом є важливим фактором, що визначає стан водних екосистем і якість води. Вони сприяють перерозподілу розчинених, завислих речовин і тепла по акваторії водойм, здійснюють перенесення та посилюють трансформацію забруднювальних речовин, обумовлюючи відновлення фонового стану водойм [21]. Оцінка гідродинамічних процесів є важливим етапом при дослідженні умов функціонування водних екосистем.

Гідродинамічні процеси – це елемент гідрологічного режиму водойм, що обумовлюється зміною складових водного балансу та впливом зовнішніх факторів, і значною мірою залежить від морфологічних особливостей водойм. Основними елементами гідродинаміки є течії, перемішування, хвильові процеси та коливання рівня води.

Серед всіх видів течій визначальними у формуванні якості води та функціонуванні екосистем водойм є вітрові та стокові. Вітрові течії не є сталими, оскільки режим вітру характеризується помітною мінливістю в часі та просторі. Стокові течії виникають внаслідок притоку води у водойму або стоку з неї.

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2015. – Т.2(37)

Перемішування водних мас обумовлене термічними (конвекція) та динамічними (турбулентність) факторами. Конвективне перемішування водних мас виникає при нестійкій температурній стратифікації в процесі охолодження та нагрівання. Турбулентне перемішування відбувається при наявності вертикальних та горизонтальних градієнтів швидкостей течій.

Хвильові процеси у водоймах виникають в основному в результаті дії вітру на водну поверхню. Вітрові хвилі мають несталий характер. Параметри хвиль суттєво залежать від конфігурації, морфометрії водойм, довжини розгону, напрямку та швидкості вітру над акваторією.

Коливання рівня у водоймах можуть бути сезонними та внутрішньодобовими (короткочасними).

На території м. Києва зосереджено близько 300 водойм [2]. На рис. 1 представлено схему їх розташування. За генезисом вони поділяються на дві групи [16]: *гідрогенні* та *штучні*. Водойми кожної групи характеризуються різним походженням та ступенем трансформації морфологічних параметрів, тому їх поділено на підгрупи. *Гідрогенні* водойми діляться на: *природні, частково змінені та антропогенно змінені водойми, стариці та затоки*. *Штучні* водойми – це *ставки та кар'єри*.

За морфометричними характеристиками водойми Києва досить різні. Площа їх водного дзеркала коливається від 0,0025 до 4,89 км², об'єми досягають 24,7 млн. м³. Середня глибина варіює від 0,85 до 15 м, максимальна – від 1,85 до 28 м.

За особливостями водного балансу міські водойми можна поділити на стічні та безстічні. Перші характеризуються тим, що витрата з них води здійснюється шляхом випаровування та за рахунок поверхневого і підземного стоку. Безстічні озера витрачають воду тільки на випаровування та інфільтрацію, не даючи початок поверхневим водотокам [1].

Серед водойм Києва стічними є водойми таких підгруп: *стариці* (озера системи Опечень), *затоки* (Верблюд, Собаче Гирло, Оболонь та ін.), *ставки* (Горіхуватські, Дідорівські, Китаївські, Палладінські та ін.) і деякі *кар'єри*. До безстічних відносяться представники підгруп *природно, частково змінених* (оз. Бабине), *антропогенно змінених* (озера Райдужне, Вирлиця та ін.), *стариць* (озера Вербне, Редьчине) та *кар'єрів* (озера Центральне та Синє).

Існує лише декілька робіт, в яких указується на екологічну роль динаміки вод у водоймах Києва у функціонуванні екосистем [3–5, 15, 20].

Методи та матеріали дослідження. Для оцінки гідродинамічних процесів у водоймах Києва нами проведено натурні спостереження, розрахунки та моделювання.

Натурні спостереження включали в себе виміри швидкостей та напрямків течій поплавками, рівнів води за допомогою водомірних рейок на тимчасово встановлених постах [8] та оцінку турбулентної дифузії шляхом використання поплавків, трасерів та індикаторів, які дифундують [9].

Одні натурні виміри, як правило, не можуть вирішити всі проблеми, що пов'язані з дослідженням гідродинамічного режиму водойм. Тому для оцінки параметрів течій нами використано розрахункові методи.

Наприклад, найбільшого поширення для оцінки вітрових течій отримала емпірична залежність, що має вигляд [14]:

$$V_{\text{пов}} = a_0 \cdot \omega,$$

де a_0 – постійний вітровий коефіцієнт, який визначається за матеріалами натурних

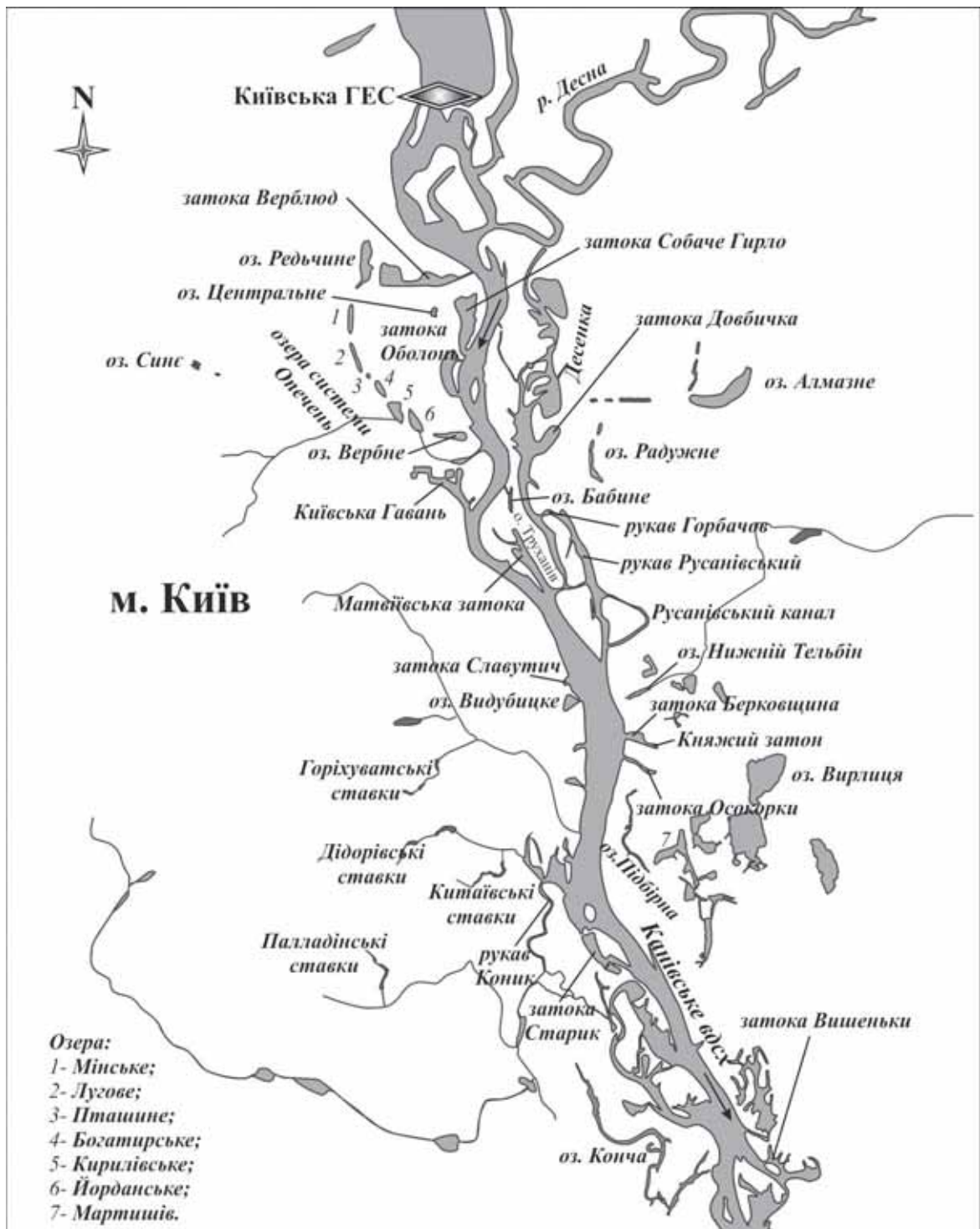


Рис. 1. Схема розташування основних водойм м. Києва

досліджень і дорівнює відношенню швидкості поверхневої течії ($v_{\text{пов}}$) до швидкості вітру (ω). В розрахунках в якості вітрового коефіцієнта, згідно з нашими вимірами на водоймах Києва і дослідженнями на водоймах України [15], прийнято постійну величину $a_0 = 0,0125$.

Для оцінки середньої швидкості стокової течії в будь-якому створі водойми використовується відношення між витратою води та площею поперечного перерізу. В нашому випадку вихідною інформацією були матеріали натурних спостережень.

Параметри вітрових хвиль (висота h_x та довжина λ_x) на водоймах Києва визначено за допомогою загальновідомих емпіричних формул [1]:

$$h_x = 0,0208 \cdot \omega^{5/4} \cdot l^{1/3},$$

$$\lambda_x = 0,3 \cdot \omega \cdot l^{1/2},$$

де ω — швидкість вітру, м/с, l — довжина розгону, км.

При визначенні амплітуди коливання рівня води в затоках (A_L) використано рівняння трансформації попускових хвиль Київської ГЕС ($A_{ГЕС}$) [18]:

$A_L = A_{ГЕС} e^{-0,03L}$, де e — основа натурального логарифму, L — відстань від ГЕС, км.

Вплив рухливості водних мас на самоочисну спроможність міських водойм оцінено за допомогою відносного коефіцієнта трансформації забруднювальних речовин K_∂ / K_{cm} , який залежить від швидкості течії (v , м/с) [15]:

$$\frac{K_\partial}{K_{cm}} = \frac{v}{(0,0031 + 0,0348 \cdot v)},$$

де K_∂ і K_{cm} — динамічна і статична складова коефіцієнта.

Для визначення загальної картини циркуляції вод у водоймах Києва нами застосовано математичну модель [15, 22], в якій в якості вхідної інформації закладаються морфометричні характеристики водойми (глибина та конфігурація берегової лінії), гідрологічні дані (притік та відтік води) та метеорологічні умови (напрямок та швидкість вітру).

Результати досліджень та їх обговорення. У всіх водоймах Києва спостерігаються вітрові течії. Значними параметрами ці течії характеризуються при дії вітру, напрямок якого співпадає з повздовжньою віссю водойми. За довідковими даними [7], в районі Києва переважаючими напрямками вітру протягом року є західні та північні, що становлять, відповідно, 17,7 і 13,6% від загальної повторюваності (рис. 2). Переважаючим є вітер зі швидкістю 2–5 м/с (достовірність 60,2%). За таких умов швидкість течії у поверхневому шарі водойм коливається в межах 2,5–6,2 см/с. При вітрах 6–9 м/с (4,6 %) – 7,5–11,2 см/с.

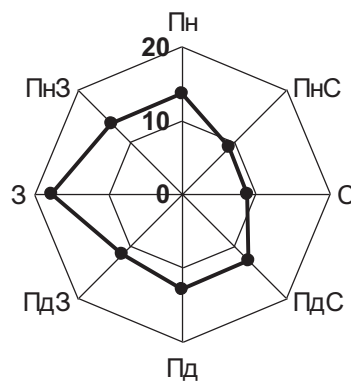


Рис. 2. Повторюваність напрямку вітру в районі Києва, % [7]

Швидкість течії у поверхневому шарі водойм, отримана в результаті натурних досліджень, практично співпадає з розрахунковою і лише в деяких випадках дещо нижча. Наприклад, в оз. Бабиному швидкість поверхне-вих течій при вітрі 6–7 м/с північно-східного напрямку становила 5–5,5 см/с.

За результатами математичного моделювання, швидкість течії у поверхневому шарі води безстічних водойм при вітрі 3 м/с в середньому становить 1,7–3,4 см/с. Швидкість, осереднена по вертикалі, варіює в діапазоні від 1,7 до 2,7 см/с. При вітрі 5 м/с вона зростає до 2,8–4,5 см/с.

Розподіл функції повних потоків в оз. Редьчиному (підгрупа *стариць*) при різних напрямках вітру середньої швидкості представлено як приклад на рис. 3.

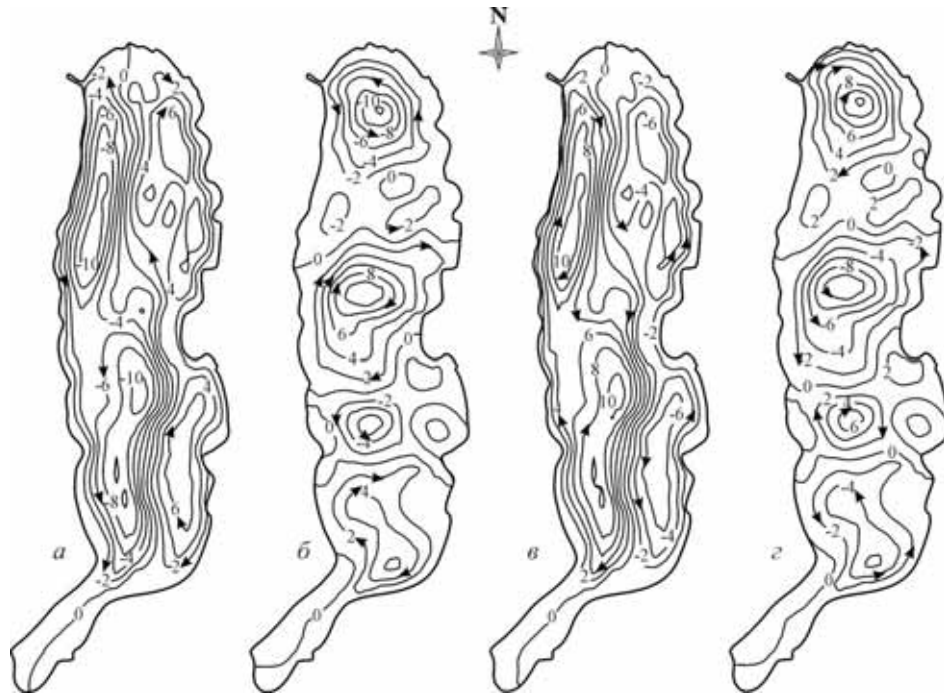


Рис. 3. Схема циркуляції вод (функції токів, м³/с) в оз. Редьчиному при вітрі середньої швидкості північного (а), східного (б), південного (в) та західного (г) напрямків

При північному напрямку вітру в західній частині озера інтегральне перенесення здійснюється в циклональному напрямку, у східній – в антициклональному. Сумарні витрати потоків при цьому вітрі досягають 10 м³/с. При південному вітрі форми циркуляції та їх потужність аналогічні, але напрямок течій протилежний. Середня по глибині швидкість течій при вказаних напрямках вітру становить 2,1 см/с, у поверхневому шарі вона досягає 3,4 см/с. При вітрах широтного напрямку в центральній частині озера формуються декілька окремих циркуляційних утворень. Їх потужність досягає 12 м³/с. Середня швидкість течій становить 1,7 см/с, у поверхневому шарі – 3,1 см/с.

Аналіз результатів розрахованих та спостережених швидкостей течій показав добру їх схожість – різниця не перевищує 1–2 см/с.

У стічних водоймах (зокрема в затоках, стічних озерах та ставках) вітрові течії характеризуються практично аналогічними параметрами. В чистому вигляді вони спостерігаються дуже рідко, оскільки на них накладаються стокові течії.

Стокові течії в затоках виникають в результаті попусків Київської ГЕС. На фазі підйому рівня вода з водосховища надходить до водойм, на фазі спаду – повертається назад. Наприклад, при одноразовому середньому попуску ГЕС в оз. Видубицьке втікає 42 тис. м³ [3]. Це обумовлює формування течії, швидкість якої в протоці, що з'єднує водойму з Канівським водосховищем, досягає 15–20 см/с. Середня швидкість течії на акваторії затоки за таких умов сягає 0,56 см/с. При максимально можливому водообміні водойми з водосховищем, який складає майже 98 тис. м³ за попуск, середня швидкість течії на акваторії може збільшуватися до 1,3 см/с.

Характерною особливістю режиму стокових течій в оз. Видубицькому є те, що незалежно від фази водообміну, переміщення водних мас тут при відсутності вітру направлено проти годинникової стрілки (рис. 4). Основна маса потоку при надходженні води у водойму дислокується в межах північної частини акваторії, при

витоку – в південній. Сумарна витрата потоку в затоці при середньому попуску ГЕС досягає $9 \text{ м}^3/\text{с}$.

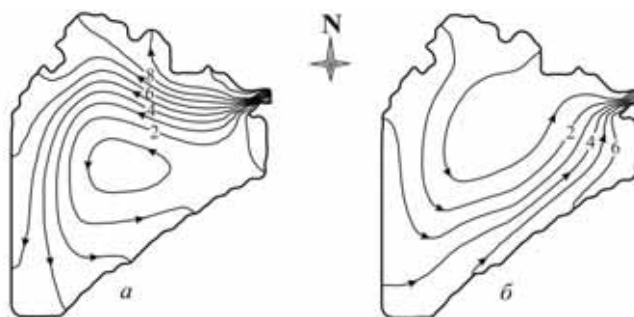


Рис. 4. Циркуляції вод (функції токів, $\text{м}^3/\text{с}$) в оз. Видубицькому за відсутності вітру на фазі підйому (а) та спаду (б) рівня води в Канівському водосховищі [3]

При сумісній дії стокового та вітрового факторів внутрішній водообмін стічних водойм значно посилюється. Так, на акваторії оз. Видубицького формуються достатньо активні циркуляції вод, потужністю до $12\text{--}14 \text{ м}^3/\text{с}$ (рис. 5). Середня по вертикалі швидкість течій становить $3\text{--}3,5 \text{ см}/\text{с}$. Це означає, що тут існують досить значні можливості для горизонтального перемішування водних мас.

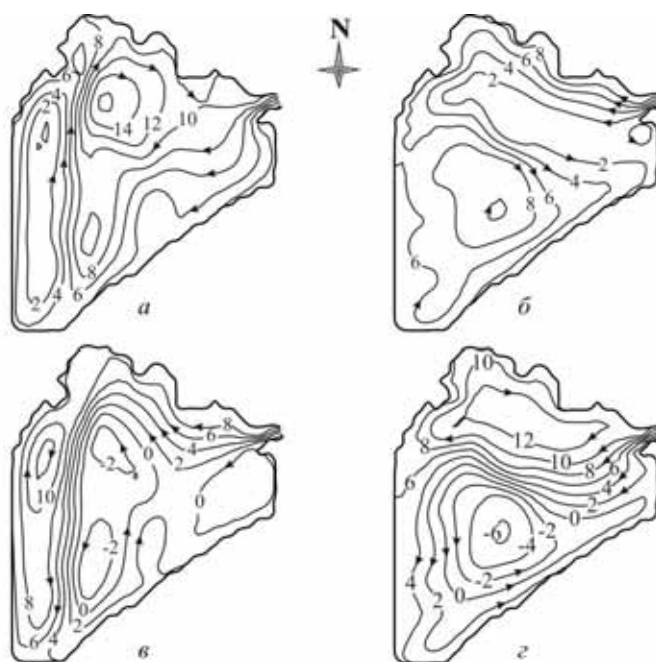


Рис. 5. Циркуляції вод (функції токів, $\text{м}^3/\text{с}$) в оз. Видубицькому при вітрі $5 \text{ м}/\text{с}$ північного (а), східного (б), південного (в) та західного (г) напрямків на фазі підйому рівня води [3]

Стокові течії в озерах і ставках формуються внаслідок впадіння малих водотоків. Транзит вод у цих водоймах слабо виражений. Швидкість стокових течій не перевищує $0,01\text{--}0,05 \text{ см}/\text{с}$. Витрати становлять $0,005\text{--}0,014 \text{ м}^3/\text{с}$ (рис. 6).

В результаті притоку поверхневих вод та дії вітру в Горіхуватських ставках, наприклад, формуються циркуляційні потоки з потужністю $0,05\text{--}1 \text{ м}^3/\text{с}$. В Горіхуватському ставку №4 їх величини досягають $0,3\text{--}0,5 \text{ м}^3/\text{с}$ (рис. 7). Сумарна швидкість стокових та вітрових течій, осереднена по вертикалі, досягає $2\text{--}2,7 \text{ см}/\text{с}$.

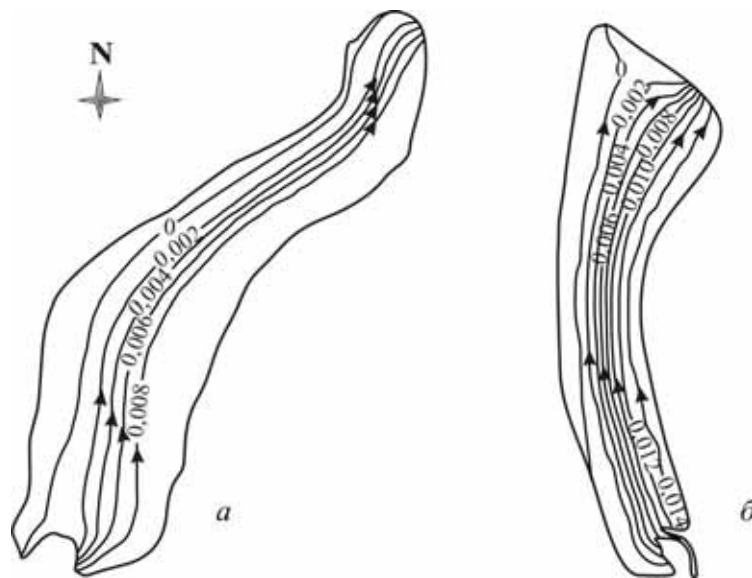


Рис. 6. Схема течій (функції токів, м³/с) в Горіхуватських ставках №3 (а) та 4 (б) при відсутності вітру

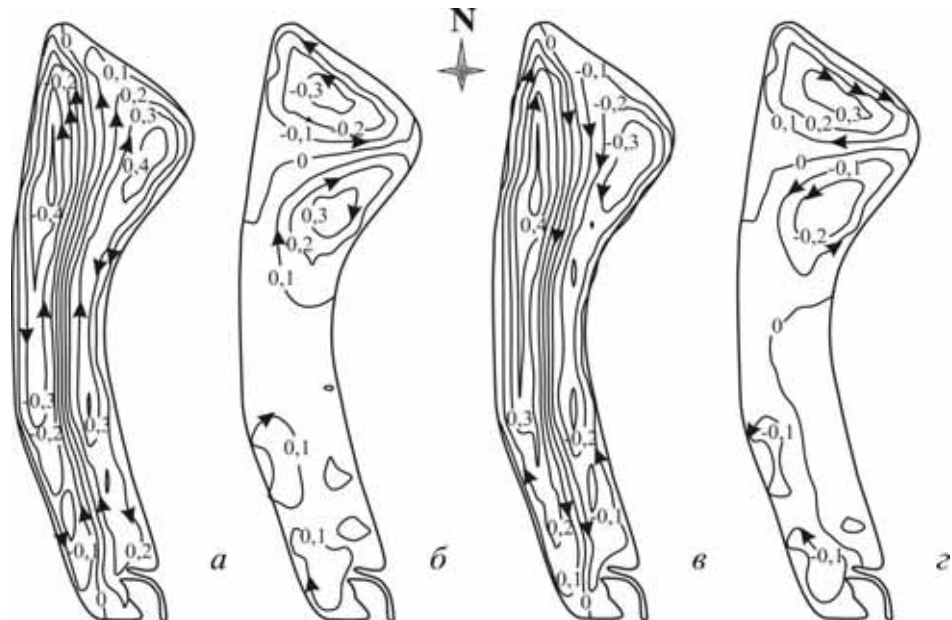


Рис. 7. Схема течій (функції токів, м³/с) в Горіхуватському ставку №4 при швидкості вітру 3 м/с північного (а), східного (б), південного (в) та західного (г) напрямків

Конвективне перемішування у водоймах Києва відбувається в період весняного нагрівання та осіннього охолодження. Наприклад, в оз. Центальному при льодоставі (березень 2011 р.) нами зафіксовано обернену температурну стратифікацію. Перепад температури по глибині (8 м) досягав 3,9°. Тривалість перемішування визначається інтенсивністю нагрівання всієї товщі води до 4 °С навесні та охолодження до цієї температури восени. Після досягнення максимальної густини водних мас подальше нагрівання (охолодження) призводить до появи у поверхневому шарі вод з меншою густиною. При цьому процес конвективного перемішування сповільнюється або припиняється.

Для оцінки турбулентного перемішування вод використовують різного роду емпіричні залежності [17], що враховують коефіцієнти горизонтального та

вертикального турбулентного перемішування. Їх визначення пов'язане зі значними труднощами.

Аналіз результатів проведених нами натурних вимірів за методикою [10] показав, що в еколого-гідрологічних розрахунках на водоймах Києва для орієнтовної оцінки залежності коефіцієнта горизонтальної турбулентної дифузії від масштабу явища (l), правомірно застосовувати «закон ступеня 4/3» [17]: $K_L = 0,0216 \times l^{1,33}$.

Дія вітру обумовлює виникнення вітрових хвиль на акваторіях водойм. Враховуючи ймовірні величини швидкостей вітру та максимальні довжини його розгону, ми оцінили ймовірні висоти (h_x) та довжини (λ_x) хвиль на різнотипних міських водоймах Києва (рис. 8, 9).

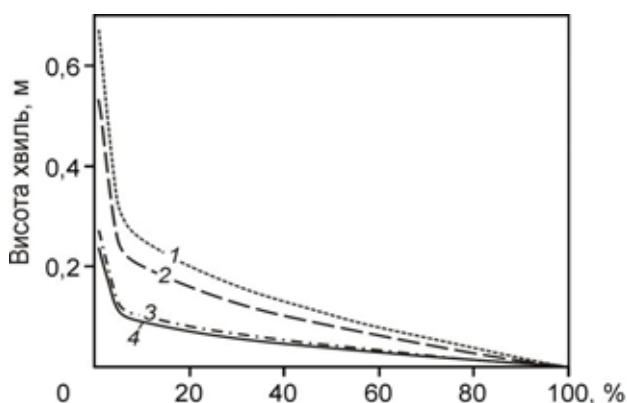


Рис. 8. Ймовірні висоти хвиль на водоймах Києва:

1 – оз. Алмазне, 2 – оз. Редьчине,
3 – оз. Центральне, 4 – Палладінський ставок №3

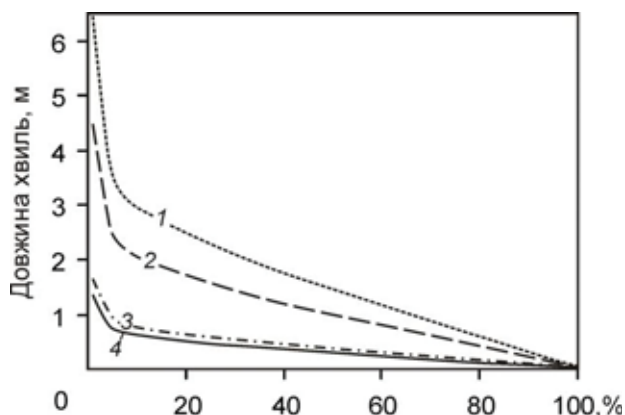


Рис. 9. Ймовірні довжини хвиль на водоймах Києва:

1 – оз. Алмазне, 2 – оз. Редьчине,
3 – оз. Центральне, 4 – Палладінський ставок №3

На водоймах Києва хвилі висотою від 4 до 10 см та довжиною від 30 до 140 см виникають при співпадінні напрямку вітру середньої швидкості з повздовжніми осями водойм. Ймовірність таких хвиль складає 50 %. При висоті хвиль від 11 до 15 см, ймовірність яких на міських водоймах становить від 15 до 40 %, спостерігаються орбітальні знакозмінні переміщення води. На водоймах Києва вони поширюються на глибину не більше 0,5 м. Механічний вплив на донні біоценози за таких умов відчувається приблизно на 1,5–12 % дна водойм. Це достатньо вузькі вздовжберегові смуги. При вітрах 10 м/с висота хвиль на акваторіях водойм зростає до 20–70 см, довжина – до 130–670 см. Відповідно зростає площа дна, де хвилі проявляють динамічне навантаження на дно, бентосні організми та інші гідробіоти.

Течії та хвильове перемішування обумовлюють турбулентну дифузію тепла, кисню, завислих речовин, домішок та розчинів по вертикалі та горизонталі. Нашими натурними дослідженнями встановлено, що у глибоких водоймах Києва турбулентна дифузія відбувається до глибини 2–4 м (рис. 10), у мілких – до дна.

Рухливість (течії та різні види перемішування) відіграє важливу роль в посиленні самоочисної спроможності водойм. Вона значною мірою прискорює розбавлення, розпад, нейтралізацію забруднювальних речовин. Відомо, що при зростанні швидкості течії від 0 до 20 см/с у водоймі відбувається посилення процесу трансформації забруднювальних речовин у 20 разів [13]. Особливо відчутне це посилення в діапазоні швидкостей від 0 до 10 см, що характерно для досліджуваних водойм.

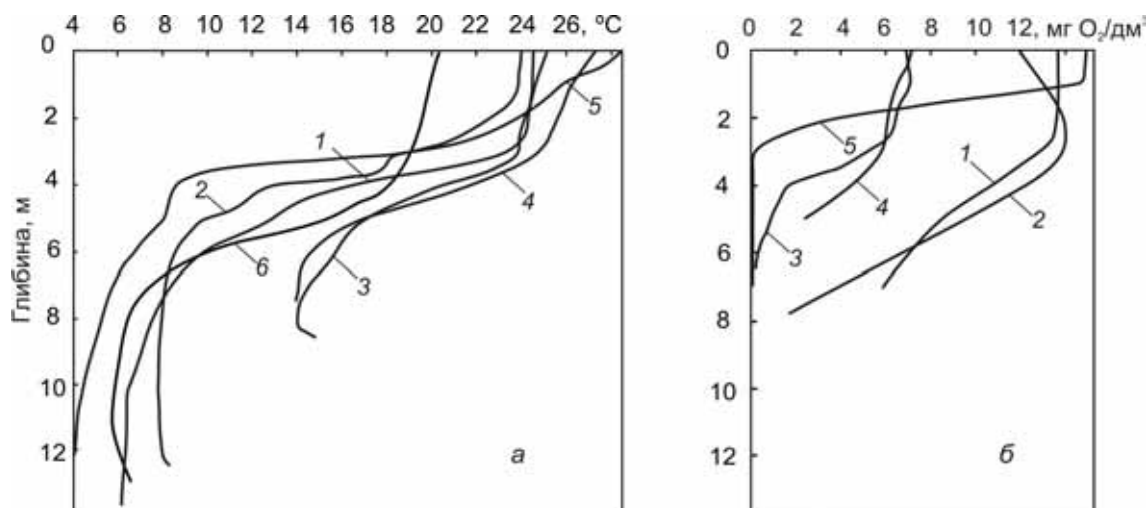


Рис. 10. Типовий (2006–2013 рр.) вертикальний розподіл температури води (а) та розчиненого у воді кисню (б) в літній період у водоймах Києва: 1 – оз. Алмазне, 2 – оз. Редьчине, 3 – оз. Центральне, 4 – оз. Райдужне, 5 – оз. Кирилівське, 6 – оз. Видубицьке

При середній швидкості вітру гідродинаміка водних мас посилює самоочисну здатність водойм Києва в 4–7 разів (табл. 1) порівняно з нерухомим станом вод. При посиленні вітру до 5 м/с динамічна складова самоочисного потенціалу водойм зростає в 6–10 разів, при 10 м/с – до 10–15 разів.

Таблиця 1. Середні показники динамічної складової самоочисного потенціалу водойм Києва

Групи	Підгрупи	Водойми	Середня швидкість течії, см/с		Коефіцієнт трансформації забруднювальних речовин (K_d/K_{cm})		
			при меридіональному напрямку вітру	при широтному напрямку вітру	при меридіональному напрямку вітру	при широтному напрямку вітру	
Гідрогенні	антропогенно змінені	оз. Райдужне	2,20	1,90	5,65	5,10	
		оз. Вирлиця	1,80	1,60	4,83	4,38	
	стариці	оз. Мінське	2,50	1,60	6,38	4,38	
		оз. Редьчине	2,10	1,70	5,48	4,61	
		оз. Кирилівське	3,00	2,50	7,24	6,28	
Штучні	кар'єри	оз. Вербне	1,56	2,50	4,28	6,30	
		оз. Алмазне	1,90	2,70	5,05	6,68	
		оз. Центральне	2,60	2,30	6,40	5,86	
	ставки	оз. Синє	оз. Синє	2,50	2,70	6,30	6,68
			Палладінські	№1	3,10	2,50	7,42
		Горіхуватські	№3	2,73	3,00	6,74	7,24
			№1	2,54	2,60	6,38	6,49
			№2	2,35	2,66	6,00	6,61
			№3	2,81	2,62	6,89	6,53
			№4	2,55	1,94	6,40	5,14
Китаївські	№2	2,15	2,47	5,6	6,24		
	№3	2,50	2,60	6,30	6,49		
	№4	2,29	2,27	5,88	5,84		
		№5	2,33	2,06	5,96	5,40	

Незважаючи на те, що водойми Києва зазнають постійного антропогенного навантаження, такі гідродинамічні процеси підтримують стабільне функціонування їх екосистем. В результаті, міські водойми досі існують та виконують рекреаційно-декоративну роль. Для порівняння, в Стеблівському лимані [6] вітрові течії зі швидкістю 4,4–5,5 см/с посилюють самоочисний потенціал у 9–11 разів проти того, яким він міг бути у нерухомому стані води. В оз. Світязь, при вітрових течіях до 10 см/с [19], самоочисні процеси посилюються в 15 разів. Таким чином, величини коефіцієнта трансформації забруднювальних речовин досліджуваних водойм подібні іншим водоймам України.

Рівневий режим різнотипних водойм Києва досить неоднозначний. Коливання рівня води у затоках значною мірою залежить від рівневого режиму Канівського водосховища. При проходженні весняного водопілля 50 %-ї забезпеченості рівень води у водосховищі та в цих водоймах підвищується на 1,65–2,8 м. Те ж відбувається і у водоймах, розташованих на заплаві піщаній терасі Дніпра. Набагато більше значення для формування екологічного стану та якості води заток мають внутрішньодобові коливання, зумовлені нерівномірними попусками Київської ГЕС. Останні призводять до виникнення в її нижньому б'єфі прямих довгих хвиль, котрі переміщуються вниз за течією і поступово трансформуються. Внаслідок цього рівень води в затоках коливається в діапазоні від 0,054 до 1,00 м (табл. 2).

Таблиця 2. Амплітуда коливання рівня води у затоках Дніпра (за даними автора і літератури [3–5, 15, 18])

Водойми	Відстань від Київської ГЕС, км	Амплітуда коливання рівнів води при різних попусках ГЕС, м		
		максимальних	середніх	мінімальних
затока Верблюд	7,15	1,00	0,436	0,145
затока Собаче Гирло	10,2	0,920	0,398	0,133
затока Оболонь	11,6	0,883	0,381	0,127
затока Київська Гавань	15,9	0,776	0,335	0,112
Матвіївська затока	19,6	0,694	0,300	0,100
рукава Горбачів та Русанівський	20,9	0,668	0,288	0,096
рукав Довбичка	20,3	0,680	0,294	0,098
затока Довбичка	25	0,590	0,255	0,085
рукав Десенка	25,1	0,589	0,254	0,085
затока Десенка	26,6	0,563	0,243	0,081
затока Славутич	23,0	0,627	0,271	0,090
озеро Видубицьке	23,2	0,623	0,269	0,090
затока Берковщина	24,9	0,592	0,256	0,085
Княжий затон	25,0	0,590	0,255	0,085
затока Осокорки	25,5	0,582	0,251	0,084
рукав Коник	29,8	0,511	0,221	0,074
затока Старик	37,8	0,402	0,174	0,058
затока Вишеньки	40,0	0,376	0,163	0,054

У водоймах, зосереджених в заплаві Дніпра, зміна рівнів відбувається у весняний період шляхом фільтрації води через підстилаючі піски зі швидкістю до 40–50 м за добу. Тривалість стояння високих рівнів води у цих водоймах становить 9–68 діб в рік (табл. 3). Амплітуда коливання рівня води зменшується з віддаленістю від Київської ГЕС.

Сезонні та внутрішньодобові коливання рівня води у водосховищі відіграють суттєву роль в процесах самоочищення досліджуваних водойм. На фазі підйому рівня води вище рівня ґрунтових вод відбувається фільтрація води через піщані береги, на фазі спаду – просочування її з берегів до водосховища. Фільтрація води через піщані береги забезпечує її очищення. Така самоочисна здатність ґрунтів завдячується життєдіяльністю автотрофних та гетеротрофних гідробіонтів. Один із компонентів біоценозу піщаного ґрунту є мікрофітобентос, який відіграє важливу роль у створенні в ньому сприятливого кисневого режиму. Функціонування гетеротрофних організмів, головним чином бактеріобентосу, визначає процеси деструкції органічної речовини та самоочищення від продуктів розкладу, зокрема мінералізацію сполук азоту, фосфору, сірки тощо [11].

Таблиця 3. Коливання рівня води у гідрогенних водоймах (крім заток) при проходженні весняного водопілля 50%

Озера	Відстань від Київської ГЕС, км	Підйом рівня води, м	Тривалість високих рівнів, діб
Редьчине	4,5	2,8	52–67
Центральне	9,5	2,7	40–55
Кирилівське	11,7	2,6	14–29
Йорданське	12,2	2,6	35–50
Вербне	12,8	2,6	44–59
Райдужне	13,5	2,5	30–45
Бабине	15,5	2,45	50–65
Н. Тельбін	23,5	2,13	53–68
Підбірна	25,5	1,9	46–61
Мартишів	27,5	1,85	14–29
Конча	36,0	1,63	9–24

При короткочасних коливаннях рівня води, які обумовлюють водообмін в піщаних берегах, деструкція органічної речовини в 2 рази більша, ніж при статичних умовах [12]. Такі коливання рівня води визначають розмір так званої смуги змочування, на якій сконцентрована найбільш активна біотична компонента екотону. Це обумовлює самоочисну здатність піщаного берега. Ширину смуги можна розрахувати за формулою:

$$b = A_L / \sin \alpha ,$$

де α – кут ухилу надводної змочуваної частини берега, який на річкових ділянках дніпровських водосховищ складає приблизно 15° .

Результати визначення ширини смуг змочування піщаних берегів заток наведено в табл. 4. Її величина при середній амплітуді коливання рівня води варіює від 0,698 до 1,87 м, при максимальній амплітуді – від 1,62 до 4,33 м, при мінімальній – від 0,223 до 0,623 м. Площа піщаних берегів, що періодично змочуються при внутрішньодобових коливаннях рівня води, оцінена для кожної із заток з урахуванням довжини їх піщаних берегових смуг.

Загальний об'єм води, що фільтрується через смугу змочування до кожної із заток, залежить від площі смуги змочування, фільтраційних характеристик пісків та тривалості фази підйому рівня води. В результаті, визначено об'єми фільтрації через піщані береги всіх заток Канівського водосховища в районі Києва (табл. 4).

Одержані дані свідчать про те, що в процесі очищення в берегових пісках приймає участь від 0,1 до 19 % загального об'єму води в затоках.

Таблиця 4. Параметри фільтрації через піщані береги заток Канівського водосховища

Водойми	Параметри при характерних попусках Київської ГЕС											
	Ширина смуги змочування, м			Площа смуги змочування, м ²			Об'єм води, що надходить за один цикл підйому рівня, м ³					
	максимальні	середні	мінімальні	максимальні	середні	мінімальні	максимальні	середні	мінімальні			
затока Верблюд	4,33	1,87	0,623	39378	17011	5670	297400	128477	42826			
затока Собаче Гирло	3,95	1,71	0,569	21324	9212	3071	161048	69573	23191			
затока Оболонь	3,79	1,64	0,545	13253	5725	1908	100090	43239	14413			
затока Київська Гавань	3,33	1,44	0,479	28290	12221	4074	213656	92299	30766			
Матвіївська затока	2,98	1,29	0,429	14893	6434	2145	112476	48590	16197			
рукава Горбачів та Русанівський	2,86	1,24	0,413	23203	10024	3341	175242	75704	25235			
рукав Довбичка	2,92	1,26	0,420	29546	12764	4255	223141	96397	32132			
затока Довбичка	2,53	1,09	0,365	7093	3064	1021	53566	23141	7714			
рукав Десенка	2,53	1,09	0,364	67430	29130	9710	509263	220002	73334			
затока Десенка	2,41	1,04	0,348	21126	9126	3042	159550	68925	22975			
затока Славутич	2,69	1,16	0,387	1587	686	229	11985	5178	1726			
озеро Видубицьке	2,67	1,16	0,385	4813	2079	693	36346	15702	5234			
затока Берковщина	2,54	1,10	0,366	6606	2854	951	49890	21552	7184			
Княжий затон	2,53	1,09	0,365	2432	1051	350	18366	7934	2645			
затока Осокорки	2,50	1,08	0,359	6538	2824	941	49377	21331	7110			
рукав Коник	2,19	0,948	0,316	13544	5851	1950	102290	44189	14730			
затока Старик	1,73	0,745	0,248	10352	4472	1491	78184	33775	11258			
затока Вишеньки	1,62	0,698	0,233	6687	2889	963	50501	21817	7272			

Рівневий режим ставків менш динамічний. Максимальні рівні води тут обмежені верхніми відмітками дренажних колодязів. Зниження рівня води у ставках спостерігається в межень. В цей період вони в основному живляться підземними водами. Діапазон коливань рівня води, наприклад, у Палладінських ставках протягом року складає 0,1–15 см. Отож, очисна здатність берегових смуг цих водойм незначна, тим більш, що вони складені переважно слабо фільтраційними ґрунтами.

Висновки. На основі проведених еколого-гідрологічних досліджень визначено, що водойми Києва характеризуються різною гідродинамічною активністю. Для безстічних водойм визначальну роль у формуванні якості вод та функціонуванні їх екосистем відіграють вітрові течії. В стічних водоймах вплив вітрового та стокового факторів рівнозначний. Внутрішні динамічні процеси в затоках Канівського водосховища активізуються більше стоковими течіями, що обумовлені попусками Київської ГЕС. Гідродинамічна активність в ставках і стічних озерах, незважаючи на наявність стокових течій, формується переважно за рахунок дії вітру.

Завдяки процесу перемішування у міських водоймах забезпечується вирівнювання гідрохімічних, гідробіологічних та гідрофізичних показників водних мас по глибині та акваторії.

Динаміка водних мас посилює самоочисну спроможність водойм Києва в середньому в 4–7 разів. При посиленні вітру до 5 м/с динамічна складова самоочисного потенціалу водойм зростає в 6–10 разів, до 10 м/с – в 10–15 разів.

За рахунок короткочасних коливань рівня води на річковій ділянці водосховища та затоках формуються сприятливі умови для інтенсивного перебігу процесу самоочищення вод в піщаних берегах.

Таким чином, гідродинамічні процеси є одним із визначальних факторів функціонування екосистем водойм Києва та формування якості їх водного середовища.

Список літератури

1. Богословский Б. Б. Общая гидрология (гидрология суши) / Б. Б. Богословский, А. А. Самохин, К. Е. Иванов, Д. П. Соколов – Л. : Гидрометеиздат, 1984. – 423 с.
2. Екологічний стан водойм м. Києва: [відп. ред. В. А. Кундієв]. – К.: Фітосоціоцентр, 2005. – 219 с.
3. Екологічний стан урбанізованих заплавних водойм. Озер Видубицьке / [Тімченко В. М., Линник П. М., Щербак В. І. та ін.] – Київ: Ін-т гідробіології НАН України, 2007. – 64 с.
4. Екологічний стан урбанізованих заплавних водойм. Озер Берковщина / [Тімченко В. М., Линник П. М., Щербак В. І. та ін.] – Київ: Ін-т гідробіології НАН України, 2009. – 68 с.
5. Екологічний стан урбанізованих заплавних водойм. Затока Осокорки / [Тімченко В. М., Линник П. М., Щербак В. І. та ін.] – Київ : Ін-т гідробіології НАН України, 2011. – 76 с.
6. Екологічний стан урбанізованих заплавних водойм. Стеблівський лиман / Колектив авторів, за ред. В. М. Тімченка, Т. Л. Алексенко. – Херсон : Херсонська гідробіологічна станція НАН України, 2011. – 48 с.
7. Клімат Києва / за ред. В. І. Осадчого, О. О. Косовця, В. М. Бабіченко. – Український науково-дослідний гідрометеорологічний інститут, Центральна геофізична обсерваторія. – К: Ніка-Центр, 2010. – 320 с.
8. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / [О. М. Арсан, О. А. Давидов, Т. М. Дьяченко та ін.]; за ред. В. Д. Романенка. – НАН України Ін-т гідробіології. – К.: ЛОГОС, 2006. – 408 с.
9. Озмидов Р. В. Диффузия примесей в океане / Р. В. Озмидов – Л. : Гидрометеиздат, 1986. – 280 с.
10. Окубо А., Озмидов Р. В. Эмпирическая зависимость коэффициента горизонтальной турбулентной диффузии в океане от масштаба явления // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. – 1970. – 6. – №5. – С. 534–536.
11. Оксийук О. П. Роль песчаного грунта в процессах самоочищения воды от органического вещества / О. П. Оксийук, Е. П. Палазий, Г. В. Меленчук // Гидробиол. журн. – 2004. – 40, №1. – С. 63–73.
12. Олейник Г. Н. К методике определения деструкции органического вещества в донных отложениях / Г. Н. Олейник, В. М. Якушин // Гидробиол.

журн. – 1989. – 25, №4. – С.83–86. 13. Охрана водных ресурсов / [Бородавченко И. И., Зарубаев Н. В., Васильев Ю. С. и др.]. – М.: Колос, 1979. – 247 с. 14. Судольский А. С. Динамические явления в водоемах / А. С. Судольский – Л. : Гидрометеоздат, 1991. – 262 с. 15. Тимченко В. М. Экологическая гидрология водоемов Украины / В. М. Тимченко – К. : Наук. думка, 2006. – 384 с. 16. Тимченко В. М. Сменяемость воды в водоемах Киева / В. М. Тимченко, С. В. Дараган // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – Київ, 2014. – Т. 4. – С. 49–57. 17. Тимченко В. М. Исследование турбулентного перемешивания в мелководьях внутренних водоемов/ В. М. Тимченко, С. С. Дубняк // Гидробиол. журн. – 1996. – 32, №6. – С. 52–60. 18. Тимченко В. М. Экологические аспекты водного режима киевского участка Каневского водохранилища / В. М. Тимченко, С. С. Дубняк // Гидробиол. журн. – 2000. – 36, №3. – С. 57–67. 19. Тимченко В. М. Экологические аспекты гидрологии Шацких озер / В. М. Тимченко, А. Е. Ярошевич, Ю. Л. Виденина, С. М. Безродная // Гидробиол. журн. – 1994. – 30, №4. – С. 59–71. 20. Тимченко О. В. Еколого-гідрологічні дослідження озера Вирлиця (Київська ділянка Канівського водосховища) / О. В. Тимченко, О. П. Холодько // Озера та штучні водойми України: сучасний стан й антропогенні зміни: Матеріали I Міжнар. наук.-практ. конф. – Луцьк: РВВ «Вежа», 2008. – С. 208–211. 21. Тушинский С. Г. Динамика вод озер и водохранилищ / С. Г. Тушинский // Итоги науки и техники ВИНТИ АН СССР. Серия: Гидрология суши – М. : 1987, Т. 6. – С. 1–140. 22. Фельзенбаум А. И. Теоретические основы и методы расчета установившихся морских течений / А. И. Фельзенбаум. – М. : Изд-во АН СССР, 1960. – 122 с.

Гідродинамічна характеристика водойм м. Києва

Батог С. В.

Досліджено основні елементи гідродинаміки в різнотипних водоймах Києва.

Ключові слова: внутрішній водообмін; течії; перемішування; хвильові процеси, коливання рівня води.

Гидродинамическая характеристика водоемов г. Киева

Батог С. В.

Исследованы основные элементы гидродинамики в разнотипных водоемах Киева.

Ключевые слова: внутренний водообмен; течения; перемешивание; волновые процессы; колебания уровня воды.

Hydrodynamic characteristic of Kyiv water bodies

Batoh S. V.

The main elements of hydrodynamic of different-type Kiev's water bodies have been researched.

Keywords: internal water exchange; currents; mixing the water; wave processes; fluctuating water level.

Надійшла до редколегії 27.04.2015

УДК 556.531.3: 504.61(477.85-25)

Николаев А.М.

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

АНТРОПОГЕННІ ЗМІНИ ТЕРМІЧНОГО РЕЖИМУ РІЧОК МІСТА ЧЕРНІВЦІ

Ключові слова: температура води, річка-аналог, стічні води, меженний стік

Вступ. Річки урбанізованої території зазнають інтенсивного антропогенного впливу, який призводить до глибоких змін гідрологічного і гідрохімічного режимів, хімічного і теплового забруднення. Основним його чинником є надходження в річки збагачених речовинами техногенного походження поверхневого стоку, промислових і комунально-побутових стічних вод, температура яких значно перевищує температуру річкових вод. Термічне забруднення виступає і як самостійний вторинний чинник впливу на процеси формування льодового покриву,

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2015. – Т.2(37)