

**Коржов Є.І.**

*Херсонська гідробіологічна станція НАН України*

## **МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕЧІЙ У ВНУТРІШНІХ ВОДОЙМАХ ПОНИЗЗЯ ДНІПРА**

**Ключові слова:** *математичне моделювання; режим течій; пониззя Дніпра*

**Вступ.** Течії є важливим елементом динаміки водних мас у водоймі. Від їх характеру, напрямку та інтенсивності залежать умови існування гідробіонтів, видовий склад та розташування їх по акваторії. Крім того, вони мають дуже важливе екологічне значення, прискорюючи швидкість розчинення шкідливих речовин у воді та впливають на міграцію і розповсюдження їх у водоймі.

При екогідрологічних дослідженнях водойм пониззя Дніпра не завжди є можливість у повному обсязі оцінити режим течій загальноприйнятими методиками, описаними у відповідних керівництвах та інструкціях. Існуючі методики є досить трудомісткими, займають багато часу і вимагають значних економічних витрат. Результати вимірів часто не дають повного уявлення про течії у всій водоймі, а також при різних гідрометеорологічних умовах. З метою отримання більш повної картини течій у водоймах пониззя Дніпра ми скористалися розрахунковими методами дослідження. Методи математичного моделювання течій багато років використовуються в практиці екогідрологічних досліджень різних водних об'єктів України [5, 6, 7] та близького зарубіжжя [1, 4]. Вони не лише дають повне уявлення про режим течій, але й дозволяють прогнозувати їх напрямок і швидкість при різних гідрометеорологічних умовах та у будь-якій частині акваторії водойми. До теперішнього часу дослідження режиму течій шляхом математичного моделювання успішно застосовувалось для великих водойм, лиманів та водосховищ, але питання щодо прийнятності цих методів для мілководних водойм, якими є озера та лимани пониззя Дніпра, лишається відкритим.

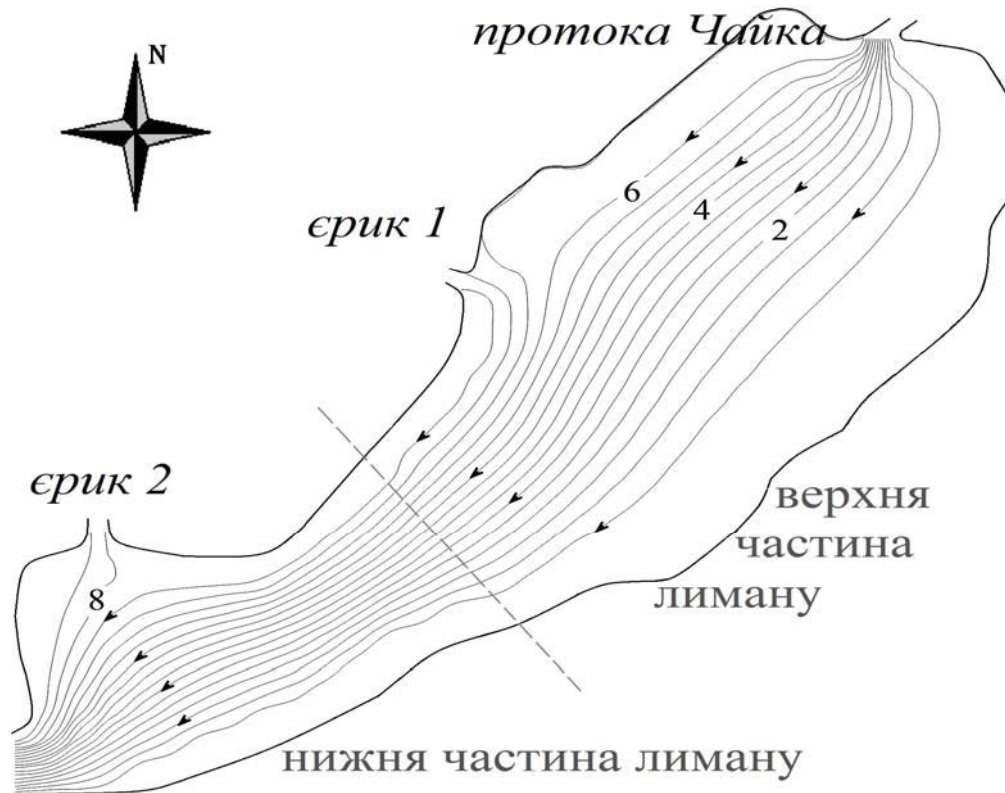
**Матеріали та методи досліджень.** При оцінці течій використана двомірна в горизонтальній площині математична модель циркуляції вод – метод повних потоків, адаптована для малих глибин [8].

У якості вхідних параметрів при розрахунках використані морфометричні показники водойм, середні величини притоку та відтоку води, метеорологічні дані.

**Результати досліджень та їх обговорення.** Враховуючи специфіку моделі, пов'язану з дискретністю введення параметрів морфометрії і нерівномірністю поля вітру над акваторією, проведено її верифікацію за результатами матеріалів наших натурних спостережень на водоймах пониззя Дніпра. Середні значення відносних похибок за напрямом та швидкістю течій складають відповідно 13,1

та 14,0%. Лише у декількох випадках їх значення в окремих точках вимірювання перевищували 25%. Такі невеликі відносні похибки свідчать про те, що обраний розрахунковий метод може бути прийнятним для оцінки режиму течій у досліджуваних заплавних водоймах.

Прикладом використання моделі може бути оцінка динаміки вод у Кардашинському лимані, який знаходиться на лівобережній заплаві Дніпра в районі м. Херсона. Площа водойми 5,09 км<sup>2</sup>, середня глибина менше 2м. На рисунках 1 і 2 наведені схеми циркуляції вод в цій водоймі.



*Рис. 1. Схема циркуляції вод у Кардашинському лимані при штильових погодних умовах.*

Схеми вказують на те, що при штильових погодних умовах вода, яка поступає в лиман з протоки Чайка і двох бічних ериків, протікає, в основному, по центральній частині водойми. Розрахункова швидкість стічних течій в середньому складає 0,42 см/с, що добре узгоджується з даними натурних досліджень, згідно яким вона варіює в межах від 0,40 до 0,53 см/с.

За наявності вітру структура течій ускладнюється. По акваторії лиману формуються замкнуті циркуляції, конфігурація та інтенсивність яких залежать від напрямку і швидкості вітру. У верхній частині лиману формуються два основних вихори – циклональний та антициклональний. Між ними пролягає основний потік, що зазвичай має протилежний вітру напрямок. Нижня частина лиману мілка, тому водні маси тут рухаються переважно за напрямком вітру, лише біля лівого берега спостерігаються слабкі компенсаційні течії.

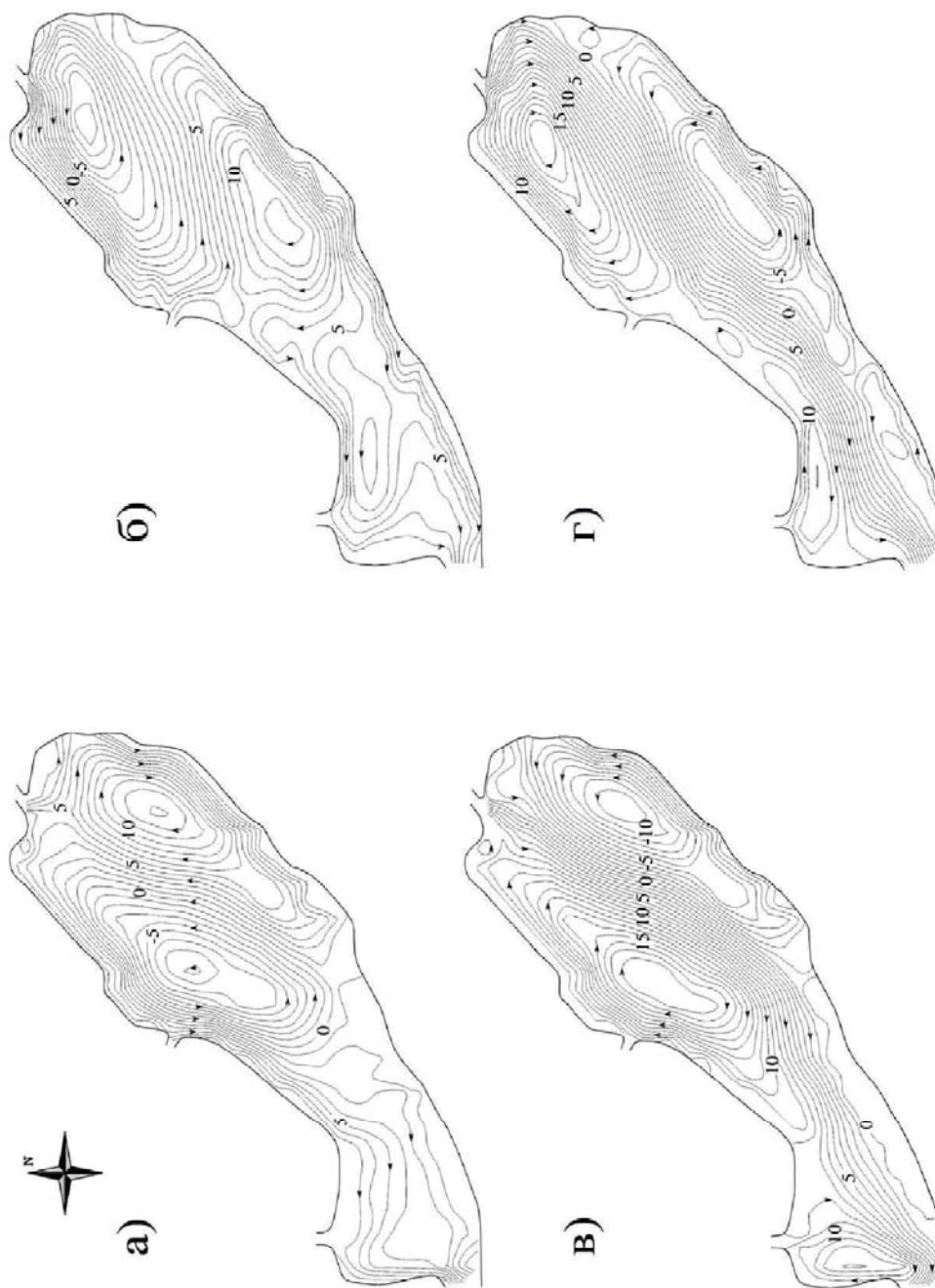


Рис. 2. Схема циркуляції вод у Кардашинському лимані при вітрі 5 м/с північного (а), східного (б), південного (в) та західного (г) напрямків.

При вітрі 5 м/с швидкість течії в лимані збільшується на порядок у порівнянні з штильовими умовами. При меридіональних вітрах вона складає 4,05 – 5,15 см/с, при широтних – 3,84 – 4,96 см/с. Максимальні значення швидкостей течії спостерігаються в прибережній зоні та у нижній більш мілкій частині лиману.

Характерним є те, що конфігурація ліній циркуляцій вод під дією вітру північних та південних напрямків є схожою та різниться лише напрямком течії у вихрових утвореннях. Те ж саме спостерігається і при широтних вітрах. При збільшенні швидкості вітру конфігурація та розташування основних вихрових утворень не змінюється, але збільшується їхня інтенсивність. Якщо при вітрі 5 м/с витрата циркуляційного потоку складає 10 – 12 м<sup>3</sup>/с, то при посиленні вітру до 10 м/с вона збільшується до 20 – 25 м<sup>3</sup>/с. При вітрі 15 м/с загальна витрата сягає 35 – 40 м<sup>3</sup>/с.

Як показали дослідження, на водоймах пониззя Дніпра найбільш складні циркуляційні потоки води спостерігаються на ділянках з антропогенно зміненою орографією дна. Прикладом можуть служити схеми течій Стеблійського лиману (рис.3). Тут при будь-яких погодних умовах в нижньому плесі формується рівномірний розподіл ліній току. В той же час на штучно деформованому верхньому плесі (судовий хід, кар'єри тощо) спостерігається складна система циркуляції вод з наявністю багатоцентрових вихрових утворень.

Одним із аспектів застосування методу математичного моделювання течій є оцінка впливу динаміки вод на процеси самоочищення водних об'єктів. Відомо, що для визначення динамічної складової самоочищення використовують відносну величину  $K_d/K_{cm}$  [3], що залежить від швидкості течії наступним чином:

$$K_d/K_{cm} = v / (0,0031 + 0,0348 v), \quad (1)$$

де:  $K_{cm}$  – коефіцієнт біохімічного окиснення речовини в нерухомому водному середовищі;  $K_d$  – динамічна складова узагальненого коефіцієнта самоочищення,  $v$  – швидкість течії в м/с.

Так, в Кардашинському лимані при середній швидкості вітру динамічна складова самоочищення ( $K_d/K_{cm}$ ) складає 9,2–9,9. При цьому, у нижній частині лиману вона дещо більша (табл.).

*Таблиця. Динамічна складова самоочисного потенціалу Кардашинського лиману при вітрі швидкістю 5 м/с*

Напрямок вітру	Середня швидкість течії, м/с		Значення $K_d/K_{cm}$	
	нижня частина	верхня частина	нижня частина	верхня частина
Північний	0,046	0,044	9,8	9,5
Східний	0,047	0,042	9,9	9,2
Південний	0,046	0,044	9,8	9,5
Західний	0,047	0,042	9,9	9,2

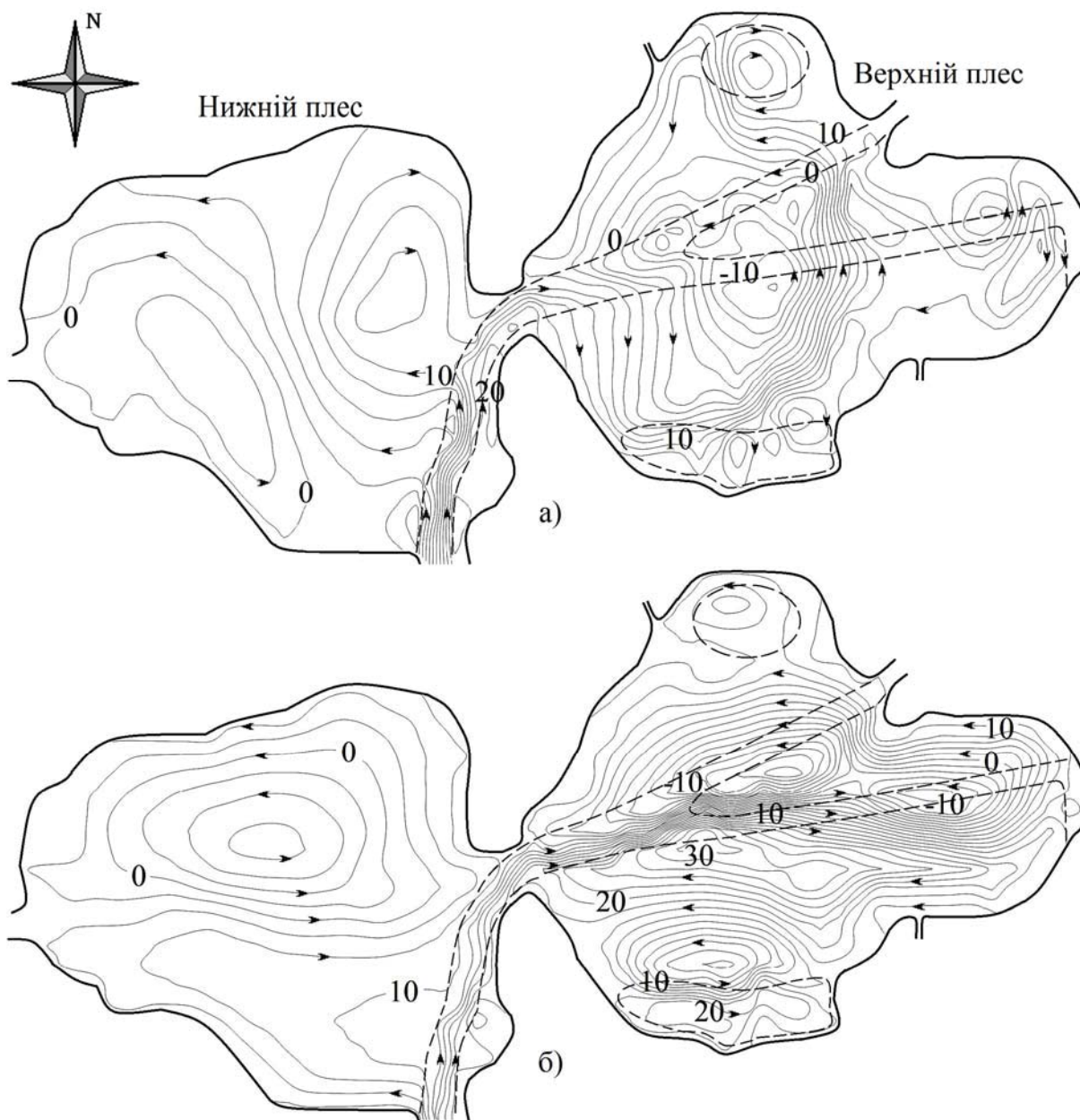


Рис. 3. Схема циркуляції вод у Стеблівському лимані при вітрі 5 м/с північного (а) та східного (б) напрямків [2]. Пунктиром виділені зони, де проводились днопоглиблювальні роботи.

**Висновки.** Проведені дослідження дають змогу стверджувати, що математичне моделювання течій може бути одним із реальних важелів оцінки динаміки водних мас мілководних водойм, включаючи плавневі та заплавні озера (лимани) пониззя Дніпра.

Застосування методу дає можливість оцінювати загальний вид циркуляції вод при різних гідрометеорологічних умовах, показники рухомості водних мас та динамічну складову процесу їх самоочищення.

#### Список літератури

1. Андреев О. А. Численное моделирование динамики вод и переноса пассивных примесей в Невской губе / О. А. Андреев, А. В. Соколов // Метеорология и гидрология. – 1989. – № 12. – С. 78–85.
2. Екологічний стан урбанізованих заплавних водойм. Стеблівський лиман / Алексенко Т. Л., Овечко С. В., Коржов Є. І. та ін.; [за ред. В. М.

Тімченка, Т. Л. Алексенко]. – Херсон : Херсонська гідробіологічна станція НАНУ, 2011. – 48 с. **3.** Экологическая емкость и её количественная оценка / [В. И. Лаврик, А. И. Мережко, Л. А. Сиренко, В. М. Тимченко] // Гидробиол. журн. – 1991. – Т. 27, №3 – С. 13–23. **4.** Лифшиц Б. Х. Пример расчета установившихся течений в озёрах с применением метода полных потоков / Б. Х. Лифшиц, Ю. С. Раутнайнен // Тр. СевНИИ гидротехники и мелиорации. – 1965. – Вып. 23. – С. 56–68. **5.** Тимченко В. М. Моделирование течений в водоемах Украины при экологических исследованиях / В. М. Тимченко, С. С. Дубняк, О. В. Тимченко // Наук. записки Тернопільського пед. ун-ту. Спецвипуск Гідро екологія. – 2005. – №3(26). – С. 432–433. **6.** Тимченко В. М. Опыт применения метода полных потоков при моделировании циркуляций вод во внутренних водоемах / Тимченко В. М., Дубняк С. С., Тимченко О. В. // Динамика и термика рек, водохранилищ и прибрежной зон морей : матер. VI Всерос. конф. (Москва, 22-26 ноября 2004 г.). – М., 2004. – С. 98–100. **7.** Толмазин Д. М. Расчёт течений, параметров турбулентности и распределения соленых вод в мелком водоёме / Д. М. Толмазин // Вод. ресурсы. – 1975. – №6. – С. 133–155. **8.** Фельзенбаум А. И. Теоретические основы и методы расчета установившихся морских течений / А. И. Фельзенбаум ; АН СССР, Ин-т океанологии. – М.: изд-во АН СССР, 1960. – 126 с.

### **Математичне моделювання течій у внутрішніх водоймах пониззя Дніпра**

**Коржов Є.І.**

*Розглянуто прийнятність методів математичного моделювання течій води для мілководних водойм пониззя Дніпра. Представлені схеми циркуляції вод у внутрішніх водоймах пониззя Дніпра. Виконаний аналіз режиму течій в цих водоймах при різних гідрометеорологічних умовах.*

**Ключові слова:** математичне моделювання; режим течій; пониззя Дніпра.

### **Математическое моделирование течений во внутренних водоемах низовья Днепра**

**Коржов Е.И.**

*Рассмотрена применимость методов математического моделирования течений воды для мелководных водоемов низовья Днепра. Представлены схемы циркуляции вод во внутренних водоемах низовья Днепра. Выполнен анализ режима течений в этих водоемах при различных гидрометеорологических условиях.*

**Ключевые слова:** математическое моделирование; режим течений; низовье Днепра.

### **Mathematical modeling of water flow in the inland waters of the lower reaches of the Dnieper**

**Korzhov E.I.**

*Admissibility of mathematical modeling of water flows for shallow waters lower reaches of the Dnieper was considered. The scheme flows in the inland waters of lower reaches of the Dnieper are presented in the article. Analyze of currents regime in these waters under different meteorological conditions have been carried out.*

**Keywords:** mathematical modeling; flow regime; the lower reaches of the Dnieper.

**Надійшла до редколегії 26.09.2012**