

**ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Навчально-науковий інститут агротехнологій, селекції та  
екології**

**Кафедра екології, збалансованого природокористування та захисту  
довкілля**

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на здобуття ступеня вищої освіти бакалавр

на тему: **Оцінка процесів евтрофікації водних  
об'єктів та методів їх відновлення**

Виконав: здобувач вищої освіти  
за освітньою програмою Екологія  
спеціальності 101 Екологія  
ступеня вищої освіти бакалавр  
групи 101Еко\_бд

**Овчаренко Едуард Олександрович**

Керівник: **Диченко О.Ю., к.с.-г.н., доц.**

Рецензент: **Міленко О.Г., кандидат  
сільськогосподарських наук, доцент**

Полтава – 2024 року

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

*Актуальність роботи.* В умовах зростаючого антропогенного впливу вирішення завдань попередження деградації водного середовища і раціонального природокористування набуло винятково важливого значення. Відповідно Указу Президента України «Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року» (від 30 вересня 2019 року № 722/2019) стале управління водними ресурсами визначено як одна із пріоритетних цілей сталого розвитку України.

Питання оцінки екологічного стану якості води та процесів евтрофікації водних екосистем вивчалось багатьма вітчизняними та зарубіжними науковцями, зокрема Бакером Л., Вінбергом Г.Г., Ганущак М. М., Гілсоном Л., Дмитриєвим В. В., Ізраєлем Ю., Клименко М. О., Клоерном Дж., Лахті К. Писаренком П.В., Середою Т. М., Сміс В., Хорусом І. та іншими. Вивченню продуктивності річок присвячені праці Абакумова В. А., Алимова А. Ф., Баранова С. А., Бульона В. В., Вінберга Г.Г., Євтушенка М. Ю., Россолимо Л. Л., Статника І. І., Толочик І. Л., Трилис В. В., Хижняк М. І. та ін. Однак до теперішнього часу недостатньо розкриті питання щодо обґрунтуванню причин, які викликають евтрофікацію водоймищ, а також потребують подальшого розвитку дослідження по виявленню регіональних особливостей антропогенної евтрофікації водойм.

*Метою кваліфікаційної роботи* є оцінка якості водного середовища та характеристика процесу евтрофікації водних систем (на прикладі р.Ворскла).

*Об'єкт дослідження* – р.Ворскла.

*Предмет дослідження:* оцінка якості водного середовища (на прикладі р. Ворскла).

*Методи досліджень:* В основу методології дослідження покладено такі наукові методи: польового та лабораторного дослідження, ресурсного та цільового підходів; метод економіко-математичного моделювання; прогнозування, картографування; евристичні методи.

**Практичне значення одержаних результатів** дослідження полягає у розробленні науково-прикладних положень, які дають можливість регулювати процес евтрофікації водних об'єктів з урахуванням регіональних умов та особливостей гідросистем.

**Особистий внесок здобувача** - у постановці і проведенні досліджень, виконанні експериментальної частини досліджень, узагальненні результатів.

**Апробація результатів роботи.** Результати досліджень за темою дисертаційної роботи викладено у тезах: Писаренко П.В., Самойлік М.С., Овчаренко Е.О.. Аналіз впливу мікроелементів на урожайність та якість насіння гороху. Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку : 11 червня 2024 р. Полтава, 2024.

## РОЗДІЛ 1

### ОСНОВНІ ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ЕВТРОФІКАЦІЙНІ ПРОЦЕСИ ГІДРОЕКОСИСТЕМ (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)

На території Полтавської області знаходиться 121 річка та водотік. Найбільшими за довжиною, площею водозбору і водністю річками області є Дніпро та його ліві притоки – Сула, Псьол, Ворскла, Орель, Хорол [2]. У поверхневій воді області скидаються недоочищені промислові та комунальні води; відсутня система збору, відведення та очищення дощових і талих вод. Зокрема у річки області щорічно скидається біля 140 млн. м<sup>3</sup> стічних вод. В 2019 р. із загального об'єму стічних вод 52 млн. м<sup>3</sup> були недостатньо очищеними. В тому ж році об'єм забруднюючих речовин, що були скинуті в водойми, склав 159,2 тис. т [14]. Крім того внаслідок високої розораності (86% території Полтавської області), а також хімізації землеробства постійно відбувається вимивання біогенних речовин (пестицидів та мінеральних добрив) у поверхневій воді, що підсилює процеси їх евтрофікації. Тому дослідження процесів евтрофікації та їх регулювання для Полтавської області мають дуже важливе значення.

Згідно з визначенням [30], евтрофікація - це підвищення біологічної продуктивності водних об'єктів в результаті накопичення біогенних елементів під дією антропогенних або природних факторів. Джерелом антропогенного надходження біогенних елементів можуть бути стічні води поселень, сільськогосподарських угідь, промислових підприємств. При евтрофікації часто спостерігається «цвітіння» води, масовий розвиток вищих водних рослин. Евтрофікація призводить до зниження рибогосподарського і рекреаційного потенціалу водойм, робить негативний вплив на системи очищення води з водних об'єктів для питного водопостачання [3; 7; 12]. В даний час антропогенна евтрофікація розглядається як найважливіший фактор негативного впливу людської діяльності на водні об'єкти [29].

Загальновідомо, що антропогенний вплив на водні екосистеми спричиняє негативні наслідки (погіршення якості води, евтрофікацію,

заболочування, пересихання, збіднення видового складу біоти тощо) [50]. Для оцінки даного впливу в Україні використовуються дві основні групи методів оцінки, які відрізняються між собою за принципами їх розробки [9]. До першої групи належать методи, які дозволяють оцінити якість води у вигляді набору різних характеристик. Вони дають оцінку якості води за гідрохімічними, гідробіологічними, мікробіологічними, гідрологічними показниками [8]. До другої групи належать методи які, дозволяють оцінити якість води. І хоча ніяке однозначне число не може передати всю інформацію про складну багатокомплексну систему, якою являються поверхневі води, ці методи широко використовуються [4].

Слід відзначити, що більшість розроблених до тепер комплексних характеристик стану водних об'єктів так чи інакше пов'язані з використанням наявних ГДК [15]. Комплексна оцінка якості води за фізичними, хімічними, бактеріологічними і гідробіологічними показниками забруднення була розроблена однією з перших Б. Л. Гутельмахером [7]. Вивченням оцінки якості поверхневих вод, удосконаленням їх класифікації займалися: Вагнер Ф., Васенко О. Г., Верниченко Г. А., Жукінський В. М., Заброкицька М.Р. та інші [28-29, 31]. Комплексна оцінка якості води річок представлена у статтях Осадчого В. І., Осадчої Н. М., Хільчевський В. К., Клименко О.М., Гриб Й. В., Соловей Т.В., Ганущак М.М., Данильченко О.С., Забокрицької М. Р. та інші. Різноманітні підходи, використані авторами при розробці систем оцінок, мають свої плюси та мінуси, але жодна з них не може претендувати на універсальність.

Насьогодні єдиним законодавчим документом щодо оцінки якості поверхневих вод є Наказ Міністерства екології та природних ресурсів України 14.01.2019 № 5 «Про затвердження Методики віднесення масиву поверхневих вод до одного з класів екологічного та хімічного станів масиву поверхневих вод, а також віднесення штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод до одного з класів екологічного потенціалу штучного або істотно зміненого масиву поверхневих вод».

Але аналіз системи моніторингу поверхневих вод України свідчить про те, що даний компонент системи державного моніторингу докільця знаходиться в найбільш незадовільному стані. Це виражається в край обмеженій кількості створів спостережень, практичній відсутності експедиційних обстежень водних об'єктів країни, слабому використанні результатів біологічного контролю якості вод в водоохоронній практиці. Вказане свідчить про необхідність проведення комплексу робіт з вдосконалення системи біомоніторингу країни, перш за всього з підвищення її ефективності та гармонізації з аналогічними системами в розвинутих країнах.

У світовій практиці під час дослідження біологічної оцінки гідроекосистеми все більшого поширення набуває використання фізіолого-біохімічних показників, зокрема величини первинної продукції [4; 5, 6]. Як зазначав у своїх дослідженнях Г. Г. Винберг [34] під первинною продукцією водойми розуміється результат життєдіяльності фітопланктону, що представляє собою новоутворення органічних речовин з мінеральних, що вимагає витрати певної кількості енергії. Під «продуктивністю» традиційно розуміється відтворення органічної речовини, як автотрофами, так і гетеротрофами різних рівнів.

Продукційну здатність водоростей можна визначати за швидкістю споживання  $\text{CO}_2$  або виділення  $\text{O}_2$  в результаті фотосинтезу, кількості синтезованих продуктів або кількості енергії, що міститься в новоствореній біомасі. Ці методи засновані на вимірах кількості поглиненого вуглекислого газу або виділеного кисню в одиницю часу. Однак слід пам'ятати, що між газообміном і зростанням біомаси далеко не завжди виявляється чітка кореляція. Зміна біомаси вимагає врахування продукційних властивостей первинних продуцентів, обліку на часовому інтервалі спостережень величини витрат на обмін, природного відмирання і виїданням. В літературі найчастіше первинна продукція оцінюється по накопиченню біомаси (або енергії) або за швидкістю газообміну [6]. Під валовою рослинною

продукцією, більшість авторів розуміють кількість речовини утвореної при фотосинтезі за одиницю часу, а під ефективною продукцією - загальну кількість речовини автотрофних організмів за певний період. Термін чиста продукція відображає різницю між валовою первинної продукцією і деструкцією всього планктону [4].

Первинна продукція в водоймах синтезується фітопланктоном, макрофітами і фітобентосом. У нашому дослідженні особлива увага буде приділятися саме первинної продукції фітопланктону. Під деструкцією розуміємо сукупність стадій продукційного процесу, що представляють собою етапи руйнування і мінералізації органічних речовин, що супроводжуються споживанням кисню і розсіюванням енергії.

Як зазначають багато зарубіжних та відчизняних дослідників, важливою продукційною характеристикою є  $P/D$ -відношення, де  $P$  і  $D$  - сумарні за певний період часу значення швидкості продукції і деструкції, відповідно. Ця характеристика відображає ефективність продукційних процесів у водоймі в цілому. Так прийнято вважати, що в олиготрофних озерах сумарний за рік баланс органічогоречовини часто негативний, тобто  $P/D < 1$ ; в мезотрофних і евтрофних водоймах  $P/D \approx 1$ . Річне відношення  $P/D > 1$  спостерігається в рідкісних випадках в водоймах з неусталеним режимом [9]. Дане питання потребує подальшого глибокого вивчення з урахуванням взаємозв'язку гідробіологічних показників із іншими факторами (температура, світло, біогенні елементи, реакція сккдловища, наявність важких металів) у конкретних умовах. У той же час вивчення даної залежності можливе лише при застосуванні апарату математичного моделювання.

Для дослідження питання взаємозв'язку гідробіологічних показників, а саме первинної продукції і деструкції органічної речовини, та фізичних, хімічних й біологічних факторів, на основі літературних даних проведено дослідження основних моделей, які використовувалися для опису різних гідробіологічних та гідроімічних процесів водних систем, зокрема: модель

екосистеми в цілому, популяційні моделі, та Л і М підходи в моделюванні (рис. 1.1-1.3). З даного аналізу випливає, що не дивлячись на численні розробки у даній сфері, потребує подальшого доопрацювання наступні питання:

- моделювання взаємозв'язку гідробіологічних показників із іншими факторами для оцінювання евтрофікації водної системи, на основі чого проводити постійний моніторинг та регулювати даний процес;

- врахування регіональних та місцевих особливостей при розробці моделей взаємозв'язку факторів у водній системі.

В результаті чисельних експериментів встановлено, що найбільш чутливими параметрами моделі є максимальна швидкість росту фіто- і зоопланктону, смертність зоопланктону, максимальні швидкості дихання фіто- і зоопланктону, швидкість осадження водоростей, максимальна швидкість споживання вуглецю фітопланктоном.

**Основоположники напрямку щодо гідросистем:** І. Вернадський, А.П. Виноградов, Н.М. Книпович, С.В. Бруевич, Л.А. Зенкевич, С.А. Зернов, В.М. Рілов, І.А. Кисельов, Б.А. Скопинцев, Л.Л. Россолімо, О.А. Алєкін, С.М. Драчев, Г.Ю. Верещагін (вивчення біогенних речовин водоєм і водотоків), Г.Г. Винберг (дослідження процесів формування біологічної продуктивності водоєм) [4].

**Імітаційне екологічне моделювання: точкові, блокові і безперервні моделі**

**1) безперервні імітаційні моделі**

У систему входять рівняння гідротермодинаміки: рівняння руху, нерозривності, стану, турбулентної теплопровідності. На 1 етапі моделюється фізичний фон розвитку системи, а на 2 етапі - механічне перенесення і біохімічні перетворення речовини. Найбільш повну просторово-неоднорідну модель гідроекосистеми можна записати в вигляді системи рівнянь гідротермодинаміки і турбулентної дифузії домішок [8].

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} + U \frac{\partial C_i}{\partial x} + V \frac{\partial C_i}{\partial y} + W \frac{\partial C_i}{\partial z} + W_{g_i} \frac{\partial C_i}{\partial z} - K_{i,z} \left( \frac{\partial^2 C_i}{\partial z^2} \right) - A_i \nabla C_i = r_i(t^0, I_0, Pa, W_a, \Delta, \dots, C_1, C_2, \dots, C_n), i = 1, 2, \dots, n,$$

де:  $C_i$  - значення концентрації геокомпонентів біологічної і хімічної природи;  $U_a(x, t)$ , - складові вектора швидкості механічного перенесення в просторі;  $W_g$  - швидкість гравітаційного осадження зважених компонентів;  $K_{i,z}$ ,  $A_i$  - коефіцієнти вертикальної і горизонтальної турбулентної дифузії компонентів;  $r_i$  - функціональні вираження зв'язків між компонентами геосистеми,  $V$  - двомірний оператор Лапласа [5].

**2) Точкові імітаційні моделі:**

У точкових моделях передбачається просторова однорідність зовнішніх впливів на модельну систему. Це також значно полегшує завдання початкових умов при моделюванні і дозволяє досить швидко здійснювати процедури ідентифікації і верифікації моделей. Проводиться перехід від балансу мас до балансу швидкостей компонентів водної екосистеми [9].

$$\begin{aligned} dF/dt &= B_F - G_{FZ} - S_F - R_F \pm Q_F; \\ dZ/dt &= A_Z - S_Z - R_Z \pm Q_Z; \\ dB/dt &= B_D - G_{BZ} - S_B - R_B \pm Q_B; \end{aligned}$$

де  $dF$  - швидкість первинного біосинтезу фітопланктону ( $dZ$  - зоопланктону);  $G_{FZ}$ ,  $G_{BZ}$ ,  $G_{DZ}$ ,  $G$ ,  $G$ ,  $G$  - швидкості виїдання F, B, D зоопланктоном;  $S_F$ ,  $S_Z$ ,  $S_B$  - швидкості природної смертності F, Z, B;  $R_F$ ,  $R_Z$ ,  $R_B$  - швидкості витрат на обмін F, Z, B;  $A_F$ ,  $A_B$ ,  $A_D$  - швидкості асиміляції їжі зоопланктоном. Інші рівняння щодо швидкості деструкції, швидкоостей надходження біогенних речовин аналогічно [

**2) Блокові імітаційні моделі:**

Окремі блоки виділяються на підставі просторової диференціації акваторії за сукупністю геокомпонентів. Всередині блоків реалізуються середньоінтегральні процедури для окремих компонентів. Потоки речовини між блоками індукуються інтегральними показниками масопереносу (безперервна модель [17])

$$V_k \frac{dC_{ik}}{dt} = \sum_l (R_{lk} C_{il} - R_{kl} C_{ik}) + V_k r_{ik}(t, C_1, C_2, \dots, C_n)$$

Потік компонентів через кордон з блоку  $k$  в блок  $l$  для компонентів біоценозу і біотопу =  $R_{kl} C_{ik}$ , де  $R_{kl}$  - коефіцієнт масопереносу. Потік компонентів з блоку  $l$  в блок  $k$  =  $R_{lk} C_{il}$ . Процес конструювання функцій  $r_i(t, C_1, \dots, C_n)$  відповідальних за біохімічні перетворення

**Популяційні моделі**

Рис.1.1 - Дослідження загальних моделей екосистем в зв'язі з питанням евтрофікації водних систем (число індикаторних температурних меж  $t = 0$ ).

**Теорія динаміки популяцій (Т. Мальтус) [8]:**  
рішення якого має вигляд:  $\frac{dn}{dt} = mn$ ,

Математична форма росту популяцій - логарифмічна крива Ферхюльста; А. Лотка, В. Вольтерр та ін.

**Модель Флемінга (модель зростання біомаси фітопланктону у водних екосистемах):**

$$dF/dt = [a - (b+ct)]F,$$

$$F_t = F_0 \exp [(a - b)t - 0.5ct^2],$$

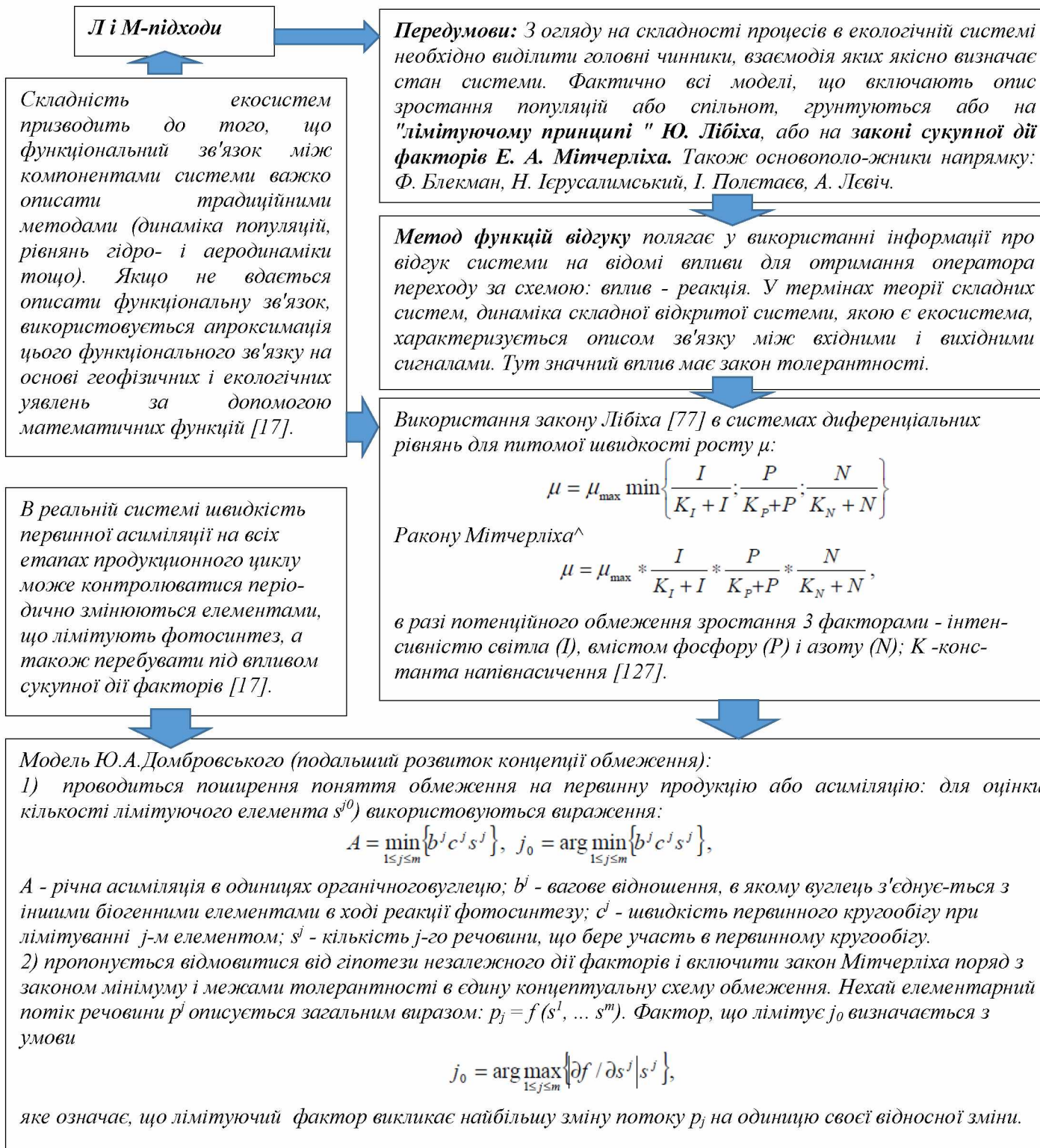


Рис. 1.3 - Дослідження Л і М підходів у моделюванні відносно питання евтрофікації водних систем (на основі літературних джерел)

Моделі зростання мікроводоростей зазвичай будуються на основі рівняння балансу вуглецю в клітці [12]. Його збільшення пов'язане з процесом фотосинтезу, а втрати обумовлені витратами на дихання і екскрецію. Різниця між надходженням і втратами визначає зміна біомаси фітопланктону. Таким чином, в загальному вигляді рівняння динаміки біомаси можна записати наступним чином: зміна біомаси = валовий біосинтез - витрати на обмін.

У класичній літературі по первинній продукції зустрічаються різні спроби оцінити частку витрат на обмін в загальному процесі новоутворення органічної речовини. У даному дослідженні для розрахунку питомої швидкості росту фітопланктону використано рівняння Г.Г. Вінберга [4]:

$$\mu_{\text{БАЛ}} = \frac{P_{\text{БАЛ}}}{B} \quad (1.1)$$

Розрахувавши гіпотетичну біомасу фітопланктону без урахування витрат на обмін ( $\Sigma P_{\text{вал}}$ ) і знаючи справжню біомасу фітопланктону ( $B$ ), розраховується відсоток перевищення органічної речовини за весь період, отриманий за допомогою  $\Sigma P_{\text{вал}}$ . Розділивши це значення на кількість днів, починаючи з 1 травня, отримуємо середню питому швидкість деструкції в кожен день дослідження.

$$r_{\text{Ф}} = \frac{1 - (B / \Sigma P_{\text{БАЛ}})}{n}, \quad (1.2)$$

Рівняння для розрахунку процентного співвідношення виглядає так:

$$\frac{r}{\mu_{\text{F}}} = \frac{r_{\text{Ф}}}{\mu_{\text{БАЛ}} - r_{\text{Ф}}} \quad (1.3)$$

Саме дане припущення [36-37; 40] використано у подальшому дослідженні для визначення залежностей між первинною продукцією та факторами, що впливають на її утворення.

Як показано на рис. 1.3, розробка моделей швидкостей масообміну включала в себе створення моделі швидкості продукування органічної речовини (ОР) в водоймі та моделі деструкції ОР фіто-, зоо-і

бактеріопланктону. При цьому питомі швидкості процесів масообміну вважалися залежними як від кліматичних факторів, так і від компонентів моделі хіміко-біологічної природи. Тому у подальшому дослідженні використана гіпотеза Мітчерліха про одночасне вплив факторів на швидкість масообміну [6]. У цьому аспекті приймається наступне припущення: питома швидкість чистого продукування  $OP \mu_f$  має розраховуватися як відгук на вплив простих параметрів за принципом сукупної дії факторів, таких як температура води, освітленість і зміст біогенних елементів в водоймі і т.д. Кожен з цих факторів, в свою чергу, знижує або збільшує максимальну питому швидкість росту  $\mu_{max}$ , за рахунок свого нестачі або надлишку в системі, так звана узагальнена функція відгуку.

Таким чином, основним методом створення моделі даного дослідження є селекція алгоритмів розрахунку часткових функцій відгуку. Загальна схема поетапного створення моделі для еколого-географічної діагностики (з урахуванням регіональним умов та властивостей) водойм представлена нижче на рис. 1.4.

Оцінка продукційно-деструкційних відношень у водній системі				
1. Оцінка впливу температури води на первинне продукування органічної речовини у водоймі	2. Оцінка впливу освітленості на первинне продукування органічної речовини у водоймі	3. Оцінка впливу біогенних елементів на ріст планктонних водоростей	4. Розрахунок швидкості первинного продукування фітопланктону	5. Розрахунок швидкості на обмін фіто, зоо-і бактеріо-планктону

*Рис. 1.4 - Схема поетапного створення моделі для діагностики водойм на основі оцінки швидкостей обмінних процесів в системі «планктон-абіотичне середовище»*

Формування ефективної стратегії управління водними ресурсами на регіональному рівні актуалізує подальші дослідження щодо розробки методик оцінки антропогенного впливу на водні об'єкти з урахуванням методів математичного моделювання. Таким чином постає необхідність у

доповненні існуючих методик оцінки водних об'єктів з метою визначення подальших методів регулювання та відновлення їх якості, зокрема за рахунок методів математичного моделювання.

## РОЗДІЛ 2

### ОБ'ЄКТ, ПРЕДМЕТ І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

#### *Гідрологічна характеристика об'єкту дослідження (р. Ворскла)*

Річка Ворскла належить до басейну р. Дніпра і є однією з найбільших лівих приток. Ворскла - річка, що протікає Белгородською областю Російської Федерації, Сумською та Полтавською областями України. Площа водозбору річки Ворскли на території України становить 12590 км<sup>2</sup> [6].

Витік Ворскли розташований поблизу села Покровки Івнянського району Белгородської області. У межах Сумської області тече територією Великописарівського та Охтирського районів. У межах Полтавської області тече територією Котелевського, Зіньківського, Диканського, Полтавського, Новосанжарського і Кобеляцького районів. На Ворсклі знаходяться наступні населені пункти: у межах Сумщини - смт. Велика Писарівка, Кириківка та місто Охтирка; у межах Полтавщини - міста Полтава і Кобеляки, селища Опішня, Нові Санжари та Білики, села Кротенки, Кунцеве, Лучки, Старі Санжари, Кишеньки, Сокілки (Правобережна і Лівобережна).

Витік річки розташований на західних схилах Середньоруської височини, тече переважно в межах Придніпровської низовини. Загальна довжина Ворскли - 464 км, в межах області - 226 км. Загальна площа водозбору — 14700 км<sup>2</sup>, в межах Полтавської області – 8550 км<sup>2</sup>. Падіння річки – 0,3 м/км. За середній по водності рік в гирлі річки витрата складає 28,5 м<sup>3</sup>/с, річний стік – 0,899 км<sup>3</sup>. Долина річки трапецієподібна, завширшки 10 – 12 км. Практично на всій протяжності правий берег високий і крутий, лівий низький і подекуди болотистий. Ширина плеса річки в середній і

нижній течії близько 40 метрів, іноді перевищує 100 метрів. Середня глибина 1,5 метри, максимальна – 10-12 м.

Річкова система Полтавської області у сучасному вигляді сформувалася в кінці льодовикової епохи. Нахил поверхні області зумовлює переважний напрям річкової сітки: майже всі річки течуть з півночі на південь або з північного сходу на південний захід і є лівими притоками Дніпра [46].

Середня густина річкової мережі  $0,27 \text{ км/км}^2$  (по Україні —  $0,25 \text{ км/км}^2$ ). Річки Полтавщини живляться в основному сніговими водами (55-60% від загального об'єму стоку), хоч більша кількість річної суми опадів випадає в тепле півріччя. Це обумовлено тим, що літні опади (за винятком зливових) просочуються в ґрунт, випаровуються і майже не дають стоку. Роль снігового живлення збільшується з півночі на південь області. Другим за значенням джерелом живлення річок є підземні води (30-35%). Роль підземного живлення зростає в зимовий і літній сезони, коли немає стоку поверхневих вод, або він незначний. Дощове живлення становить приблизно 10% річного об'єму стоку [8].

Сумарний річковий стік складається з двох складових: місцевого стоку та транзитного стоку. Ворскла починається на території інших областей, і стік, який вона звідти приносить, є транзитним. Більша частина місцевого стоку формується у північних районах області. Шар стоку тут сягає 80 мм за рік, а модуль стоку —  $3,5 \text{ л/с-км}^2$ . На півдні області ці показники становлять відповідно 40 мм і  $1,2-1,5 \text{ л/с-км}^2$ . Така різниця пояснюється зменшенням кількості атмосферних опадів, висоти снігового покриву та зростанням випаровуваності з півночі й північного заходу на південний схід. Середній шар стоку по області в річці Ворскла становить 64 мм, що менше, ніж у середньому по Україні (87 мм).

Водоносність і рівень води в річках області протягом року відчутно змінюються. Повінь на річках у зв'язку із таненням снігу розпочинається на початку березня. У цей час формується 70-80% річного об'єму стоку.

Наприкінці літа більшість річок міліє, а деякі пересихають (настає літня межінь). У цей час живлення відбувається в основному за рахунок підземних вод. Обміління рік спричиняє зниження рівня ґрунтових вод, а це веде до зменшення запасів води у ставках та водоймах. Під час літніх злив і осінніх дощів на річках бувають паводки. Річка Ворскла характеризується інтенсивним підвищенням рівнів води під час весняної повені та низьким стоянням у літню межень. Восени та взимку рівні води у річці дещо вищі, ніж улітку. Весняне піднесення рівнів води в середньому припадає на першу декаду березня, іноді на третю декаду лютого. Найбільш ранні дати підвищення рівнів води внаслідок сніготанення припадають на першу декаду лютого, а найпізніші – на початок квітня. Повінь у середньому триває 20–25 днів/

Приблизно 130 днів на рік річки покриті льодом. Льодостав починається на півночі та північному сході області до 7 грудня, завершується на півдні до 20 грудня, весняний льодохід розпочинається навпаки на півдні 17-18 березня, а закінчується 25 березня на північному сході. На весну припадає 75% твердого стоку, на літо та осінь разом – лише 10%. У річці Ворскла каламутність становить до 250 г/м [7].

До заплав річки Ворскла прилягає велика кількість боліт області. Майже всі вони низинного типу і містять значні поклади торфу. За характером рослинності болота в основному трав'янисті – високотравні (з переважанням очерету та рогозу) та осокові, рідше лісові (вербові, чорновільхові) і чагарникові (в основному з верби попелястої).

У районі річки Ворскла сформовані прибережно-водні та водні фітоценози. Для цих фітоценозів характерне поясне розміщення рослинності. По берегах водоймищ та у водній товщі до глибини 0,5 м переважає болотна рослинність, з формаціями очерету, рогозу, лепешняка водяного, стрілолиста звичайного, частухи подорожникової, іноді осок. У місцях з повільною річковою течією і в заводях, прибережно-водяна рослинність тягнеться вздовж берега суцільною смугою. За цією смугою до глибини 2 – 2,5 м

ростуть рослини, прикріплені до дна, з плаваючим листям. У цій смузі зустрічаються і неприкріплені до дна рослини з плаваючим листям (жабурник звичайний, кушир занурений та ін.). Майже у всіх заводях річки зустрічається ряска. На глибинах більше 2,5 м поширені придонні рослини.

Серед лівих приток Ворскли в межах області можна виділити три найбільших: Мерлу, Коломак, Тагамлик. Праві притоки – короткі і маловодні. Найбільша з них – річка Кобелячок (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

**Річкова мережа річки Ворскла**

Назва річки	Куди впадає	Довжина, км	
		загальна	в межах області
Котелевка	Ворскла	31	31
Котельва	Котелевка	31	17
Мерла	Ворскла	116	28
Коломак	Ворскла	102	72
Чутівка	Коломак	14	10
Ладиженка	Коломак	23	23
Свинківка	Коломак	59	59
Тагамлик	Ворскла	65	65
Сухий Тагамлик	Тагамлик	31	31
Полузір'я	Ворскла	70	70
Кустолове	Ворскла	60	60
Кобелячка	Ворскла	29	29
Мала Кобелячка	Кобелячка	11	11
Вовча	Кобелячка	15	15

\* - відповідно [46]

На річці споруджені невеликі ГЕС, є шлюзи-регулятори (біля с. Головчино, Грайворона, Велика Писарівка, Куземіна, с. Деревки, с. Міські Млиники, с. Патлаївка, с. Нижні Млини, с. Кунцево, с. Перегонівка). Воду використовують для промислового і побутового водопостачання, сільськогосподарських потреб (табл. 2.2). Вздовж русла річки розміщені багаточисельні сільськогосподарські землі.

Забір, використання та відведення води, млн. м<sup>3</sup> (2024 р.)\*

Назва водного об'єкту	Забрано води із природних водних об'єктів - всього	Використано води	Водовідведення у поверхневі водні об'єкти	
			всього	з них забруднених зворотних вод
р. Ворскла	8,91	8,565	4,701	0,435

\* - відповідно [72]

Ворскла належить до найбільш мальовничих річок України. Високі праві береги її русла сягають місцями висоти 80 м. Вони нерідко помережані балками і ярами, що заросли дубовими та кленовими лісами. Після підтоплення гирла річки Дніпродзержинським водосховищем воно перетворилось у широкий розлив з островами рослинності та колоніями водоплавних птахів. У річці водяться до 50 видів риби, більшість з яких коропові, а також судак, лящ, щука, окунь, карась, густера, лин, плотва зустрічаються соми.

Вздовж берегів річки є значні лісові масиви, як хвойні (переважно по лівому березі), так і листяні ліси. Різноманітний трав'яний покрив [10]. Тваринний світ представлений зайцями, лисицями, в навколишніх лісах можна зустріти косуль і кабанів, велика різноманітність птахів: дика качка, сіра чапля, деякі види куликів, куріпок, фазан.

Осушення боліт, регулювання русел, лісомеліорація певною мірою зумовлюють водний баланс території. Зменшення стоку пов'язане зі збільшенням сумарного випаровування, з осушенням та інтенсивною використовуваністю угідь, втратами поверхневого стоку на заповнення водовмісного шару вище рівня ґрунтових вод на осушених торфовищах та на заповнення каналів, перекритих шлюзами-регуляторами. Збільшенню стоку сприяє також додатковий притік підземних вод унаслідок розкриття каналами водоносних горизонтів, включення замкнених безтічних ділянок водозбору.

Основними джерелами антропогенного забруднення басейну річки є організовані та неорганізовані скиди. Неорганізованими є поверхневий стік із сільськогосподарських угідь та урбанізованих території (стік дощових та талих вод, вигрібних ям, об'єктів суспільного призначення тощо, звалищ ТПВ тощо).

Протягом останніх років озеро Ігнатенкове, що через систему канал та малих річок зв'язано з р. Ворскла, забруднюється зворотними водами, які виходять після очисних споруд ДП «Водоочистка» ТОВ «Водоторгприлад» м. Охтирка та філії «Охтирський сиркомбінат» ПП «Рось». Далі до м. Полтава річка Ворскла тече по сільській місцевості без відчутного антропогенного навантаження.

У р. Ворскла здійснюються скиди недостатньо очищених вод з очисних споруд Котелевської ділянки КП «Полтававодоканал», Супрунівських очисних споруд КП «Полтававодоканал» м. Полтави, КП ПОР «Полтававодоканал» та КП «ЖЕО «Терешківської с/р». Очисні споруди Котелевської ділянки КП «Полтававодоканал» та КП «Полтававодоканал» м. Полтави здійснюють негативний вплив на стан р. Ворскла по амонійному азоту та фосфатах. Супру-нівські очисні споруди КП «Полтававодоканал» м. Полтави - по фосфатах [11].

### ***Контрольні ділянки дослідження на р. Ворскла***

Для дослідження процесу евтрофікації води в річці Ворскла було взято проби на глибині 0,2-0,5 м від поверхні водойми, в різних районах м. Полтави та на околицях міста (рис. 2.1): ділянка №1 (Т. 1) - с. Петрівка, Полтавського р-ну; ділянка №2 (Т. 2) - м. Полтава, вул. Сакко, р-н Дублянщина; ділянка №3 (Т. 3) - м. Полтава, вул. Сакко, р-н Дублянщина; ділянка №4 (Т. 4) - с. Нижні Млини, передмістя м. Полтава. Проби води бралися між 12:00 та 17:00 годинами.

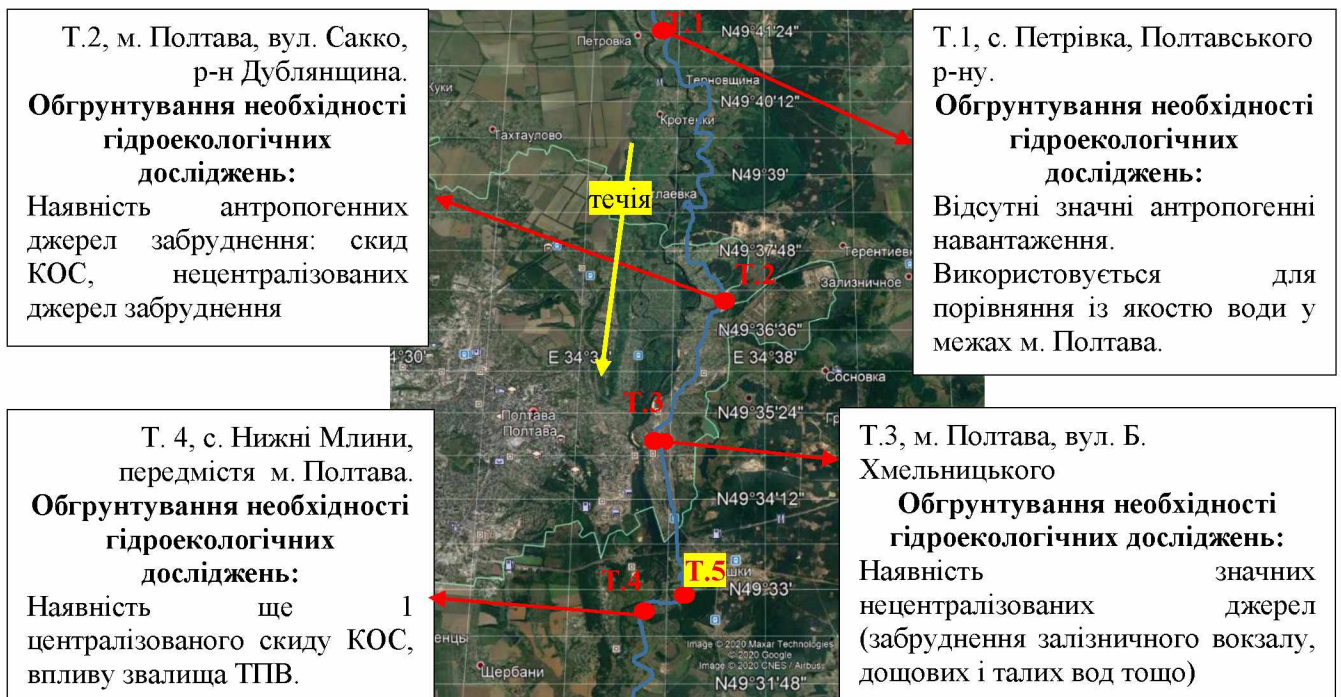
*Ділянка №1.* Характеризується високою витратою 20,8 м<sup>3</sup>/с та потужністю 567,9 млн. м<sup>3</sup> води (за даними Полтавського обласного центру з

гідрометеорології, додаток А). Ширина ділянки складає 21,5 м, середня глибина - 3,5 м. На даній ділянці наявні різкі повороти річки.

*Ділянка №2.* Характеризується витратою 18,7 м<sup>3</sup>/с та потужністю 478,6 млн. м<sup>3</sup> води. Ширина ділянки складає 26,5 м, середня глибина - 2,8 м. Наявний централізований скид недоочищених каналізаційних стічних вод КП «Полтававодоканал» м. Полтави.

*Ділянка №3.* Характеризується витратою потоку 16,8 м<sup>3</sup>/с та потужністю 541,5 млн. м<sup>3</sup> води. Ширина ділянки складає 28,9 м, середня глибина - 2,2 м.

*Ділянка №4.* Характеризується витратою потоку 25,8 м<sup>3</sup>/с та потужністю 985,4 млн. м<sup>3</sup> води. Ширина ділянки складає 37,8 м, середня глибина - 2,5 м. Наявний централізований скид недоочищених каналізаційних стічних вод.



*Рис. 2.1 - Контрольні ділянки для дослідження процесу евтрофікації водойми та її регулювання*

### Методи досліджень.

Прилади, які використано під час аналізу хімічних та фізико-хімічних показників води: спектрофотометр атомно-абсорбційний С-115 У (С-115 ПК)

№0479933600197; колориметр фотоелектричний концентраційний, КФК-3 № 9113799; комбінований вимірювач рН, питомої електропровідності, мінералізації та вмісту розчиненого кисню з класом захисту від потрапляння води IP6 № 8603; рН-метр, рН-150 М №0110; терези торсійні ВЛКТ-500М № 736; терези аналітичні АДВ-200 М № 514; шафа сушильна електрична кругла 2В-151 № 2871; муфельна піч Т-40/600 (4217) № 84796; набір гир ГА-200 № 514 Н 676 (додаток Б) .

Методики, згідно яких проводились визначення приведені в таблиці 2.3. Колір, запах, осад, мутність, прозорість та присмак визначалися за загальними методами визначення органолептичних показників [6].

Контрольні проби для визначення показників відбирано в 2023-2025 рр. на одних і тих же контрольних ділянках (Т.1-Т.4) в трьохкратній повторюваності. На місці відбору проб води проводилась фіксація розчиненого кисню у кожній відібраній пробі.

Таблиця 2.3

*Перелік методик виконання вимірювань (визначень) складу та властивостей проб об'єктів довкілля (водне середовище)*

Назва показника об'єкта, що вимірюється	Діапазон вимірювань та похибка	Назва та позначення МВВ	Засоби вимірювальної техніки
Амоній-іони у перерахунку на азот амонійний, мгN/дм <sup>3</sup>	0,1 – 50 (0,078 – 39) $\delta = \pm(20-9)\%$	<b>МВВ 081/12-0106-03.</b> Поверхневі, підземні та зворотні води. Методика виконання вимірювань масової концентрації амонійіонів фотоколориметричним методом з реактивом Неслера	Фотометр фотоелектричний КФК-3-01
Біохімічне споживання кисню (БСК <sub>5</sub> ), мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	3 – 10000 $\Delta = \pm(0,0068-0,5)\%$	<b>КНД 211.1.4.024-95.</b> Методика визначення біохімічного споживання кисню після n днів (БСК) в природних та стічних водах	Бюретка 1-3-2-25-0,1, ГОСТ 29251-91, АВТ 220 - 4М, ТР - 214
Водневий показник, одиниця рН	1,0 – 10 $\Delta = \pm 0,1$	<b>МВВ 081/12-0317-06.</b> Поверхневі, підземні та зворотні води. Методика виконання вимірювань водневого показника (рН)	Іономір універсальний ТВ -74
Залізо загальне, мг/дм <sup>3</sup>	0,02 – 20 $\delta = \pm 24\%$	<b>МВВ 081/12-0415-07.</b> Води зворотні, поверхневі, підземні. Методика виконання вимірювань масової концентрації заліза атомно-абсорбційним методом (полуменева атомізація)	С-115-М1

Кисень розчинений, мг/дм <sup>3</sup>	1 – 14 $\delta=\pm(20-10)\%$	<b>МВВ 081/12-0008-01.</b> Поверхневі та очищені стічні води. Методика виконання вимірювань масової концентрації розчиненого кисню методом йодометричного титрування за Вінклером	Бюретка 1-1-2-25-0,05 АВТ 220 - 4М, ТР - 214
Марганець, мг/дм <sup>3</sup>	0,01 – 20 $\delta=\pm 23\%$	<b>МВВ 081/12-0416-07.</b> Води зворотні, поверхневі, підземні. Методика виконання вимірювань масової концентрації марганцю атомно-абсорбційним методом (полуменева атомізація)	С-115-У
Мідь, мг/дм <sup>3</sup>	0,01 -20 $\delta=\pm 15\%$	<b>МВВ 081/12-0648-09.</b> Води зворотні, поверхневі, підземні. Методика виконання вимірювань масової концентрації міді атомно-абсорбційним методом (полуменева атомізація)	С-115-У
Нікель, мг/дм <sup>3</sup>	0,01 – 20 $\delta=\pm (25 - 18)\%$	<b>МВВ 081/12-0649-09.</b> Води зворотні, поверхневі, підземні. Методика виконання вимірювань масової концентрації нікелю атомно-абсорбційним методом (полуменева атомізація)	С-115-У
Нітрати, мг/дм <sup>3</sup>	0,5 – 1000 $\delta=\pm(25 - 16)\%$	<b>МВВ 081/12-0651-09.</b> Води зворотні, поверхневі, підземні. Методика виконання вимірювань масової концентрації нітрат-	КФК-3-01, АВТ 220 - 4М, ТР - 214
Нітрити, мг/дм <sup>3</sup>	0,03 – 10 $\Delta=\pm(0,009-2)\%$	<b>КНД 211.1.4.023-95.</b> Методика фотометричного визначення нітрит-іонів з реактивом Грісса в поверхневих та очищених стічних водах	КФК-3-01, АВТ 220 - 4М, ТР - 214
Сульфати, мг/дм <sup>3</sup>	50 – 500 $\delta=\pm 9\%$	<b>МВВ 081/12-0177-05.</b> Поверхневі, підземні та зворотні води. Методика виконання вимірювань масової концентрації сульфатів титриметричним методом	АВТ 220 - 4М, ТР - 214 Бюретка 1-1-2-25-0,05 ГОСТ 29251-91
Сухий залишок, мг/дм <sup>3</sup>	50 – 10000 $\delta=\pm 5\%$	<b>МВВ 081/12-0109-03.</b> Поверхневі, підземні та зворотні води. Методика виконання вимірювань масової концентрації сухого залишку (розчинених речовин) гравіметричним методом	АВТ 220 - 4М, ТР - 214
Фосфат-іони у перерахунку на мінеральний фосфор, мгР/дм <sup>3</sup>	0,05 – 100 $\delta=\pm (15 - 10)\%$	<b>МВВ 081/12-0005-01.</b> Поверхневі та очищені стічні води. Методика виконання вимірювань масової концентрації розчинених ортофосфатів фотометричним методом	КФК-3-01, АВТ 220 - 4М, ТР - 214
Хімічне споживання кисню (ХСК), мгО/дм <sup>3</sup>	5 – 10000 $\Delta=\pm(0,7 - 800)$	<b>КНД 211.1.4.021-95.</b> Методика визначення хімічного споживання кисню (ХСК) у поверхневих і стічних водах	Бюретка 1-1-2-25-0,1, ГОСТ 29251-91, АВТ 220 - 4М, ТР – 214
Хлориди, мг/дм <sup>3</sup>	10 – 500 $\delta=\pm 10\%$	<b>МВВ 081/12-0004-01.</b> Поверхневі та очищені стічні води. Методика виконання вимірювань масової концентрації хлоридів методом аргентометричного титрування	Бюретка 1-1-2-25-0,05 ГОСТ 29251-91, АВТ 220 - 4М, ТР – 214

Хром загальний, мг/дм <sup>3</sup>	0,0005 – 2 $\delta = \pm 23\%$	<b>МВВ 081/12-0652-09.</b> Води зворотні, поверхневі, підземні. Методика виконання вимірювань масової концентрації хрому атомно-абсорбційним методом (електротермічна атомізація)	С-115-У
Цинк, мг/дм <sup>3</sup>	0,005 – 2 $\delta = \pm 22\%$	<b>МВВ 081/12-0413-07.</b> Води зворотні, поверхневі, підземні. Методика виконання вимірювань масової концентрації цинку атомно-абсорбційним методом (полуменева атомізація)	С-115-У
Миш'як, мг/дм <sup>3</sup>	0,005 – 1 $\delta = \pm 15\%$	<b>МВВ № 92.04</b> Методика выполнения измерения массовой концентрации мышьяка в сточных водах коксохимического производства фотокolorиметрическим методом	С-115-У
Кадмій, мг/дм <sup>3</sup>	0,005 – 2 $\delta = \pm 25\%$	<b>МВВ 081/12-0455-07</b> Води зворотні, поверхневі, підземні. Методика виконання вимірювань масової концентрації кадмію атомно-абсорбційним методом (електротермічна атомізація) (0,0002-0,20 мг/дм <sup>3</sup> )	С-115-У
Кремній, (по Si), мг/дм <sup>3</sup>	0,05 – 5 $\delta = \pm 10\%$	<b>МВВ 081/12-0015-01</b> Поверхневі води. Методика виконання вимірювань масової концентрації розчинених сполук кремнію у вигляді жовтої кремнемолібденової гетерополікислоти	КФК-3-01, АВТ 220 - 4М, ТР - 214
Нафтопродукти, мг/дм <sup>3</sup>	0,01 – 5 $\delta = \pm 20\%$	<b>МВВ 081/12-0645-09</b> Води зворотні, поверхневі, підземні. Методика виконання вимірювань масової концентрації нафтопродуктів гравіметричним методом	С-115-У
Фенол, мг/дм <sup>3</sup>	0,005 – 2 $\delta = \pm 25\%$	<b>МВВ № 081/12-0119-03</b> Поверхневі, підземні та зворотні води. Методика виконання вимірювань масової концентрації летких з паром фенолів з використанням 4-аміноантипірину	КФК-3-01, АВТ 220 - 4М, ТР - 214

\* - Позначення МВВ (шифри) наведені згідно з «Переліком методик виконання вимірювань (визначень) складу та властивостей проб об'єктів довкілля, тимчасово допущених до використання Держекоінспекцією України», затвердженим Головою Державної екологічної інспекції України – Головним державним інспектором України з охорони навколишнього природного середовища від 01.03.2013 р.

### РОЗДІЛ 3

#### ОЦІНКА ПРОЦЕСУ ЕВТРОФІКАЦІЇ ВОДНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ПРОДУКЦІЙНОЇ-ДЕСТРУКЦІЙНИХ ВІДНОСИН

При проведенні розрахунків були запропоновані наступні константи напівнасичення для вмісту фосфору, амонійного азоту і надходження сонячної радіації [14]:  $K_{Ph} = 0.007$  мг / л,  $K_N = 0.030$  мг/л,  $K_I = 12.0$  МДж / м<sup>2</sup>·добу;  $t_0 = 5$  °С, а константа в рівнянні розрахунку  $\mu_{max} I/S = 0.023$  (°С·добу)

<sup>-1</sup>. Розрахунок надходження кількості сонячної радіації під воду проводився за допомогою методу [17].

На першому етапі розраховували швидкість новоутворення органічної речовини  $P$  (рисунок 5.1). Розрахункові параметри приведені у додатку К. Потім перевірили відповідність фактичних і розрахованих значень відповідно до наступних критеріїв:

1) Критерій випадковості

$$\delta = D_A / D, \quad (3.1)$$

де  $D$  і  $D_A$  - відповідно дисперсія ряду фактичних значень параметра і його випадкової складової, викликані впливом елементів випадковості [15]. Задовільним прийнято значення  $\delta < 0.674$ ;

2) Збіг розрахункового значення з фактичною величиною вважається задовільним, якщо їх різниця не перевищує за абсолютною величиною  $0.674\sigma$  [14], де  $\sigma$  - стандартне відхилення вихідного фактичного ряду. Цей критерій буде представлений в процентах задовільних значень;

3) Коефіцієнт кореляції  $r$  розраховувався в якості допоміжного показника.

При розрахунку збіжності фактичних і розрахованих значень швидкості утворення органічної речовини критерій випадковості  $\delta$  виявився рівним 0.626, а коефіцієнт кореляції - 0.76. Так само 71% модельних розрахунків виявилися задовільними, так як різниця розрахованих і фактичних значень за абсолютною величиною не перевищувала  $0.674\sigma$ . Отже, на даному етапі запропонована модель представляється досить ефективною.

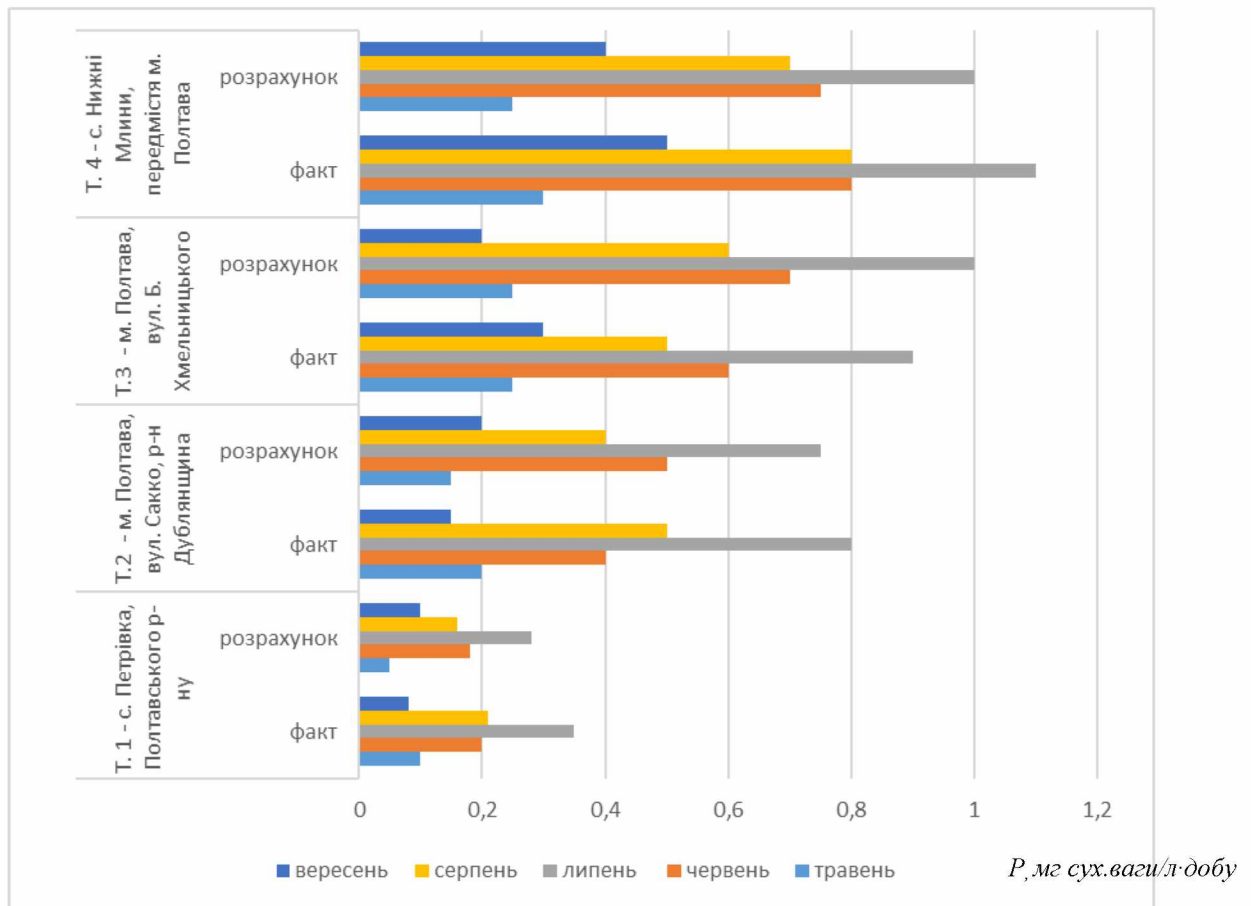


Рис. 3.1 - Усереднені фактичні і розраховані за допомогою запропонованої моделі значення первинної продукції (мг сух.ваги/л-добу) в поверхневому горизонті р. Ворскли на чотирьох ділянках

На рис. 3.1 зображені значення, виміряні та розраховані для р. Ворскла. В основну модель були включені такі фактори впливу, як температура, світло, вміст фосфатів і амонійного азоту, рН, забруднюючі речовини. Авторські розрахунки приведено у [7].

На другому етапі розраховували відношення первинної продукції до деструкції органічної речовини фітопланктоном  $P/D$  (рис. 3.2). Тут збіжність рядів виявилася дещо гіршою. Критерій випадковості дорівнював 0.532, що вказує на ефективність запропонованого методу, а коефіцієнт кореляції - 0.53, що говорить про досить тісний взаємозв'язок двох процесів. За критерієм  $0.674\sigma$  70% розрахованих значень виявилися задовільними.

$P/D$

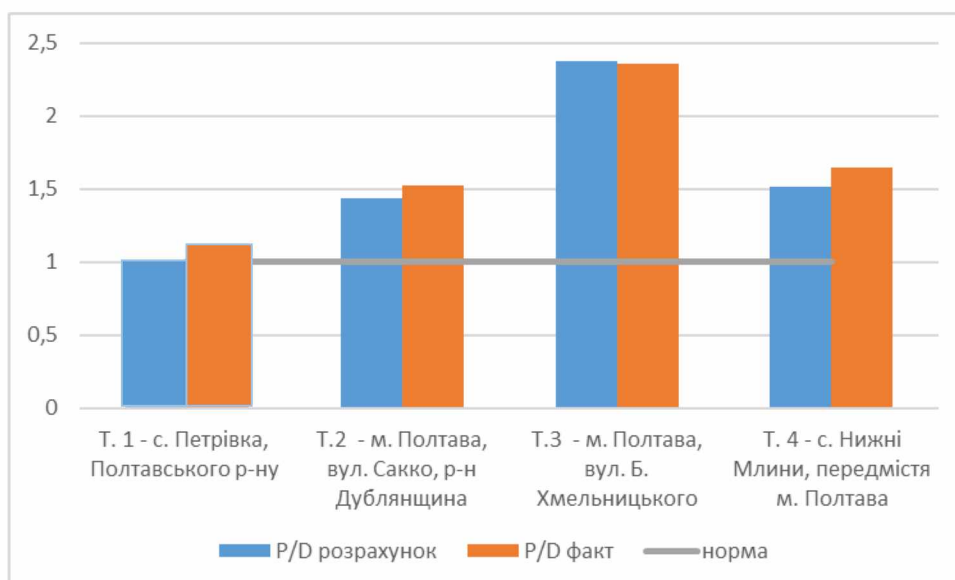


Рис. 3.2 – Фактичне і розраховане за допомогою моделі значення P/D-відношення на різних ділянках річки Ворскла

В цілому ідентифікацію отриманої моделі на натурних спостереженнях можна вважати успішною.

Як видно із рис. 3.2, практично у всіх випадках (крім с. Петрівка, Полтавського району) P/D більше 1, що вказує на проходження інтенсивного процесу евтрофікації та необхідність очистки даних ділянок річки.

На наступному етапі проведено моделювання змін евтрофної водойми, параметру P/D-відношення від меншого значення до більшого та визначено характеристику зміни параметрів моделі продукційної-деструкційні відносини у водній екосистемі (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Зведена таблиця змін значень вхідних параметрів запропонованої моделі для п'яти ситуацій по величині P/D-відношення

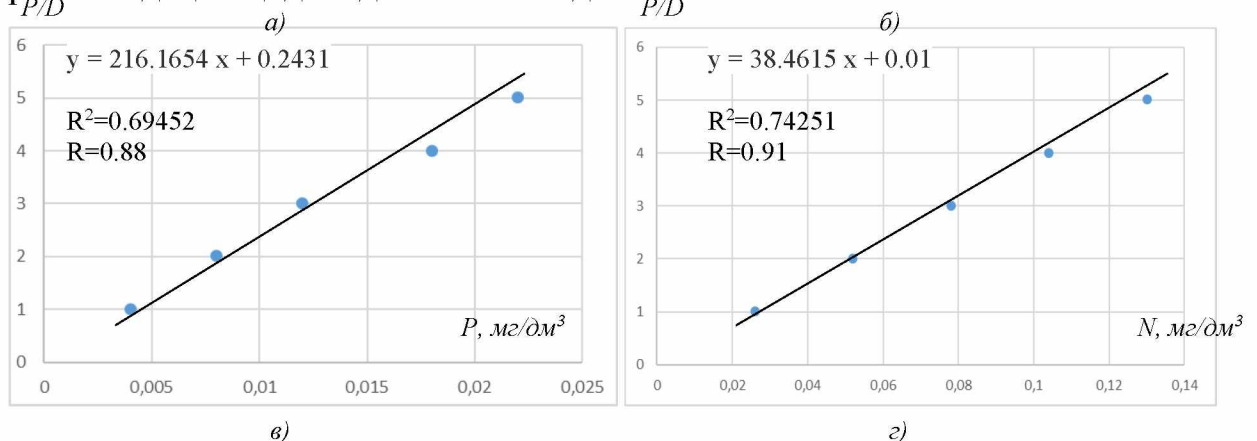
Характер змін параметру	Початкові дані (с. Петрівка) P/D	№ сценарію(P/D)				
		№1 (1,01)	№2 (2,01)	№3 (3,01)	№4 (5,01)	№5 (5,01)
Біогенні речовини ↑ (вміст фосфора)	0,46 мг/дм <sup>3</sup>	↑ 0,004	↑ 0,008	↑ 0,012	↑ 0,018	↑ 0,022
Біогенні речовини ↑ (вміст азоту)	1,25 мг/дм <sup>3</sup>	↑ 0,026	↑ 0,052	↑ 0,078	↑ 0,104	↑ 0,13
Температура ↑	18 °С	22	24	28	32	36

Кольоровість води ↑	37 град.	0,500	1,100	2,200	4,300	8,600
pH ↓	7,50	7,200	6,400	5,800	5,200	4,400

Результати розрахунків (табл. 3.1) показали, що при збільшенні  $P/D$ -відношення спостерігається чітка тенденція до зменшення рН води (кисле середовище), збільшення мутності води, температури, біогенних речовин. Виявлені залежності між  $P/D$  з відповідними значеннями фосфору, азоту та рН приведено на рис. 3.3 (математичні залежності побудовані за допомогою програмного пакету STATISTICA).

Таким чином, запропоновану модель можна використовувати як в геоecологічних дослідженнях для прогнозування стану водної екосистеми за  $P/D$  - відношенням, так і для характеристики параметрів, що впливають на процес евтрофікації водоймища та їх лімітування.

Розробка методів моніторингу швидкостей масообміну між компонентами водних екосистем, моделювання процесів продукційно-деструкційних відносин, а також визначення їх залежності від параметрів, що на них впливають, є актуальною задачею регіональної системи управління якості довкілля. Тому запропонована модель може використовуватися для моніторингу та прогнозування евтрофікації водних екосистем, регулювання даного процесу на основі контролю вхідних параметрів та розробки рекомендацій щодо відновлення водних об'єктів.



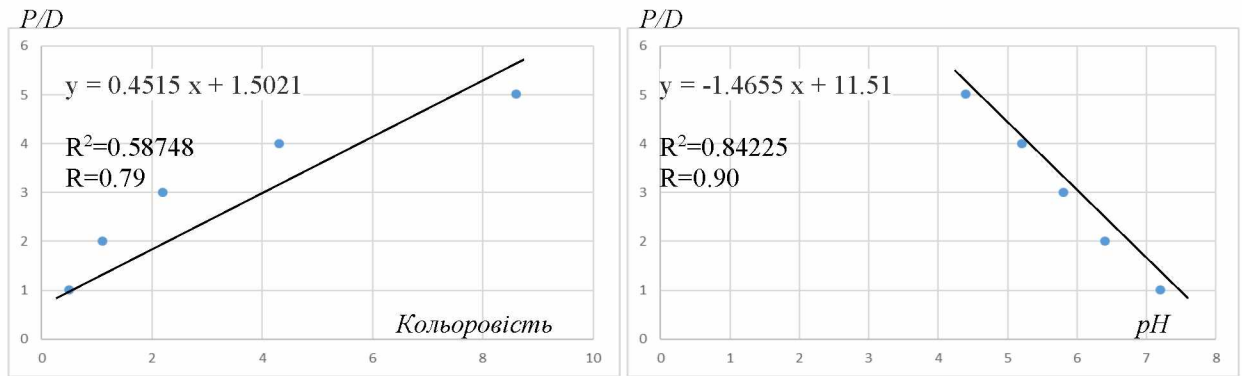


Рис. 3.3 - Залежність між P/D-відношенням та факторами: біогенні речовини - вміст фосфора (а), біогенні речовини - вміст азоту (б), кольоровість води (в), рН води (г)

По проведеним комплексним дослідженням регіональних особливостей водних систем на прикладі р. Ворскли встановлено, що причинами прискореного розвитку ціанобактерій у водних об'єктах є: вміст у воді в підвищених концентраціях біогенних елементів; відношення продукційно-деструкційних відношень більше 1; температура води від 15 до 30<sup>0</sup>С; підвищений вміст мікроелементів, таких як мідь, залізо та інші; наявність підвищеного вмісту важких металів (зокрема марганцю, свинцю). Тому, першочергові дії щодо регулювання процесу евтрофікації мають бути направлені на ліквідацію наслідків (сам процесу цвітіння води), а в подальшому - ліквідація самих причин даного процесу та нейтралізація джерел забруднення.

Дослідження зразків води на 4 контрольних точках р. Ворскла показали, що підвищення забруднення, а як наслідок інтенсифікація процесу евтрофікації водної системи, обумовлюється антропогенними джерелами, зокрема:

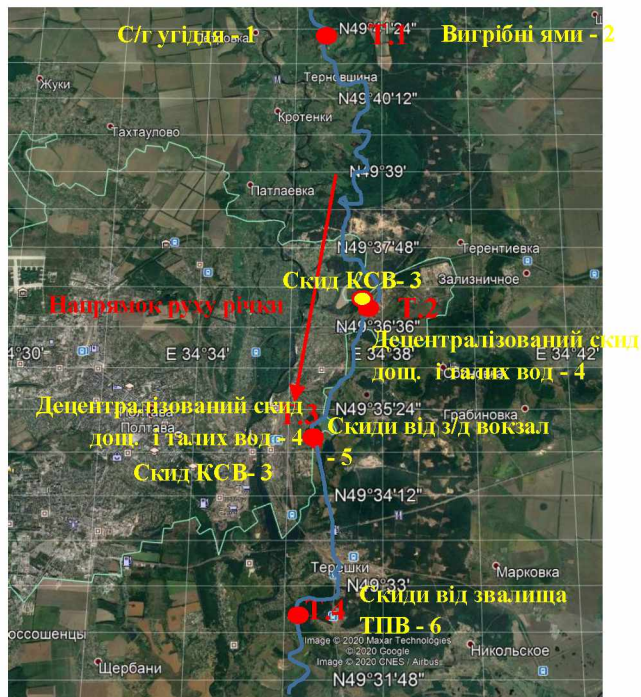


Рис. 3.4 - Антропогенні джерела, що спричиняють інтенсифікація процесу евтрофікації водної системи

1. Біля місця забору Т.1 на р. Вороскля (с. Петрівка, Полтавського р-ну) наявними джерелами є сільськогосподарські угіддя (поверхневий стік з полів, джерело біогенних речовин) - №1 на рис. 5.6 та можливе децентралізоване попадання через ґрунтові води забруднень через вигрібні ями (джерело біогенних речовин, марганцю, деяких мікроелементів) №2 на рис. 5.6.

Розглянемо сценарії зменшення антропогенного навантаження на даній ділянці.

Сценарій 1 (існуючий). Існуюча ситуація зберігається. На даний час  $P/D \approx 1$ , що вказує на здатність системи до самовідновлення. Але подальше накопичення забруднень, зокрема біогенних речовин від сільськогосподарських угідь та вигрібних ям, може привести до накопичення їх у донних відкладеннях. Все це може призвести до збільшення  $P/D$ -відношення, зменшення можливостей водної системи до самоочищення.

Сценарій 2 (оптимальний). Враховуючи, що рівень евтрофікації у даній точці не є високим ( $P/D \approx 1$ ), а вище по річці значні антропогенні джерела відсутні, доцільно внести перед початком масового цвітіння (у червні) пробіотик у розбавленні 1:100. Враховуючи обсяг води (нами вибрана

ділянка з шириною 7 м та середньою глибиною 3 м), доцільно внести 50 кг пробіотику. Попередні розрахунки (розділ 4) вказують на можливість зменшення БСК<sub>5</sub> - 39%, ХСК - 33%, азоту амонійного на 33%, зважених речовин - 18%. Оцінка сценаріїв зменшення антропогенного навантаження на ділянці (Т.1) за *P/D*-відношенням приведена на рис. 5.7.

Сценарій 3 (перспективний). На наступному етапі необхідно по-перше знизити зовнішнє навантаження на водну систему, а саме біогенних елементів, які стимулюють процес евтрофікації. По-друге необхідно зменшити внутрішнє навантаження на водний об'єкт, що включає акумуляцію забруднюючих і органічних речовин, важких металів донними відкладеннями.

Зовнішнє навантаження на водну систему можливо зменшити за рахунок використання природних бар'єрів (макрофагів - очерету, осоку, рогіз) та висаджування їх по береговій лінії [5]. Для зменшення вірогідності вторинного забруднення водної системи від донних відкладень, а саме розміщених у них органічних речовин та важких металів, рекомендовано видаляти донні відкладення. При використанні даного методу дещо збільшується глибина водойми, крім того неминучий збиток донній фауні водного об'єкту, а, відповідно, і його екосистемі. Для регулювання «цвітіння» води в р. Ворскла може бути використаний прийом з використанням ячмінної соломи в якості інгібітора розвитку ціанобактерій. Даний метод є найбільш екологічно безпечним, добре зарекомендував себе в багатьох країнах. Дані модельних експериментів [2] свідчать про високу активності продуктів розкладання соломи щодо нитчастих водоростей. Використання ячмінної соломи вважається успішним способом боротьби з «цвітінням» води без будь-яких небажаних побічних ефектів.

У ЦБ і діатомових водоростей оптимальним вважається відношення азоту до фосфору від двох до п'яти. Збільшення цього відношення призводить до пригнічення цвітіння ЦБ і домінування протококкових зелених мікроводоростей. Необхідне збільшення досягається за рахунок

додавання в евтрофіваних водойми сполук азоту. На другому етапі пропонується інтродукція в водойму фітопланктоїдних риб, які переводять надлишкову первинну продукцію активно споживаних протококкових у вторинну продукцію риб. Запропонований метод регуляції евтрофікації (зміна домінування ЦБ на переважання зелених водоростей) застосується для рекреаційних водойм і добре підійде саме в сільській місцевості.

2. Біля місця забору Т.2 на р. Ворскла (м. Полтава, вул. Сакко, р-н Дублянщина) основними антропогенними джерелами забруднення є: централізований скид недоочищених каналізаційних стічних вод - №3 (рис. 5.6); попадання неочищених дощових і талих вод (відсутність їх централізованого збору і очистки).

Сценарій 1 (існуючий). Існуюча ситуація зберігається. На даний час  $P/D = 1,50$ , що вказує на те, що система більшою мірою продукує органічну речовину, ніж може розкласти. Тому у період червень-вересень дана система має високий рівень фітопланктону, що супроводжується «цвітінням» водойми. Накопичення біогенних елементів, забруднюючих речовин спричинятиме ріст фіпланктону, зменшення кисню у водоймі, збільшення мутності, як наслідок - зниження самоочищення водної системи. Тому даний варіант сприятиме погіршенню якості водної системи (рис. 3.5).

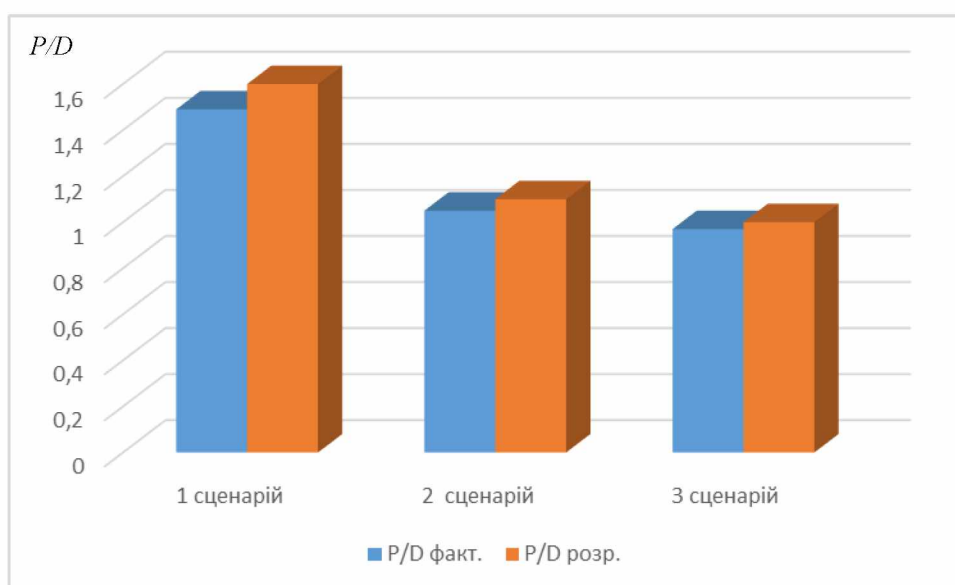


Рис. 3.5 - Оцінка сценаріїв зменшення антропогенного навантаження на ділянці (Т.2) р. Ворскла за  $P/D$ -відношенням

3. Біля місця забору Т.3 на р. Ворскла (м. Полтава, вул. Б. Хмельницького) основними антропогенними джерелами забруднення є: централізований скид недоочищених каналізаційних стічних вод - №3 (рис. 5.6); нецентралізовані скиди у районі розміщення залізничного вокзалу - №4; попадання неочищених дощових і талих вод (відсутність їх централізованого збору і очистки); нецентралізовані скиди із житлових будинків та закладів суспільно-господарського призначення.

Сценарій 1 (існуючий). На даний час  $P/D = 2,31$ , що вказує на значні евтрофікаційні процеси на даній ділянці річки. Збереження існуючої ситуації не можливе, тому що водна система виступає вторинним джерелом забруднення довкілля.

Сценарій 2 (оптимальний). Перш за все доцільно внести перед початком масового цвітіння пробіотик у розбавленні 1:50 (концентрація збільшена у 2 р. з урахуванням зовнішніх факторів). Усього 170 кг пробіотику.

Для зменшення локального надходження з водозбору біогенних елементів, зокрема азоту, рекомендується будівництво новітніх систем очистки стічних вод аналогічно на ділянці Т.2. Також необхідно локалізувати забруднення від вигрібних ям (аналогічно ділянки Т.1). У даному випадку можливо, як зазначалося раніше, використовувати різні біопрепарати, зокрема біопрепарати Світеко – ОС [20]. Останнім часом на заміну вигрібних ям використовуються септики – споруди для очищення невеликих об'ємів стічних вод (до 25 м<sup>3</sup>/добу), проектування яких виконують згідно з СНіП 2.04.03-85. Згідно СНіП 2.04.03-85 відстань від будинку до септика може дорівнювати від 5 м до 20 м, а відстань від септика до дворового (питного) колодязя не повинна бути меншою ніж 20 м. Принцип роботи біосептику наступний. Стоки спочатку потрапляють в септик попереднього очищення (перший бак). Основним завданням даного септика є зменшення ступеня забрудненості стоків. Він являє собою монолітний резервуар з самонесучого поліетилену, що витримує над собою до 90 см ґрунту. Далі

попередньо очищені на 65% стоки потрапляють в септик глибокої доочистки. Після даного септику стоки становляться очищеними на 95%. Далі очищена вода відводить на поля фільтрації [25].

Сценарій 3 (перспективний). Вирішення даних питань є аналогічним ділянки Т.2: необхідний централізований збір та очищення дощових і талих вод, організація централізованого водовідведення від житлових будинків та об'єктів суспільно-господарського призначення або встановлення локальних систем очистки з моніторингом фіксованих показників у точці збору по БСК<sub>повн</sub>, ХСК, азот амонійний, фосфати, зважені речовини, важкі метали (свинець, марганець), залізо.

3. Місце забору Т.4 на р. Ворскла (м. Нижні Млини, передмістя м. Полтава) розміщене вниз по течії від попередніх трьох точок. Крім забруднюючих речовин, що потрапляють вище за течією, а також попадання забруднень та біогенних речовин з вигрібних ям, з нецентралізованим стоком дощових і талих вод, у даному місці додається ще одне – попадання забруднюючих речовин від звалища ТПВ, що розміщене у с. Макухівка. Забруднення від звалища надходять у р. Коломак, яка далі впадає у р. Ворсклу (у районі с. Нижні Млини).

Сценарій 1 (існуючий). На даний час  $P/D = 1,58$ , що теж вказує на значні евтрофікаційні процеси на даній ділянці річки. У той же час вони дещо нижчі ніж на ділянці 3, що у першу чергу можна пояснити розбавленням забруднюючих речовин на даній ділянці річки. Враховуючи, що система більшою мірою продукує органічну речовину, ніж може розкласти, наявний високий рівень фітопланктону, що супроводжується евтрофікацією водойми. Даний варіант сприятиме погіршенню якості водної системи.

Сценарій 2 (оптимальний). Перш за все доцільно внести перед початком масового цвітіння пробіотик у розбавленні 1:50 (концентрація збільшена у 2 р. з урахуванням зовнішніх факторів)- 370 кг пробіотику.

Сценарій 3 (перспективний). Вирішення даних питань є аналогічним Т.1, Т.2 і Т.3: необхідний централізований збір та очищення дощових і талих

вод, організація централізованого водовідведення від житлових будинків та об'єктів суспільно-господарського призначення або встановлення локальних систем очистки з моніторингом фіксованих показників у точці збору; очистка донних відкладень, використання макрофагів та гідробіологічних методів очистки.

Одним із важливих питань щодо регулювання евтрофікації поверхневих водойм (на прикладі р. Ворскла), є постійний моніторинг якості води та контролювання основних факторів: рН, БСК<sub>повн</sub>, ХСК, азот амонійний, фосфати, зважені речовини, мутність, важкі метали (ртуть, свинець, марганець, кобальт), залізо, феноли, вміст фітопланктону, первинна продукція та деструкція органічної речовини. Використання авторської методики Р/D-відношення дозволить не тільки контролювати здатність системи до самоочищення, але і вчасно визначати вплив лімітуючих факторів та їх причини, що дозволить більш повно досліджувати та регулювати процес евтрофікації водної системи.

## ВИСНОВКИ

У роботі змодельовано якісні зміни інтенсивності первинного продукування в залежності від спільного впливу зовнішніх факторів: температури води, сонячної радіації, вмісту біогенних елементів, вмісту у воді забруднюючих речовин, а саме важких металів, і активної реакції середовища. На основі цього запропонована методика оцінки формування первинної продукції і самоочищення річки за моделлю, яка враховує вплив різних чинників природного і антропогенного впливу.

На жаль, як в екологічному, так і геоекологічному моніторингах відсутня практика залучення швидкостей і інтенсивностей обмінних процесів. Запропоновано посилити цю частину моніторингу за допомогою включення в його постійний склад такого параметра як первинна продукція і деструкція органічної речовини, а також авторською моделлю для розрахунку цих параметрів через абіотичні чинники.

Розроблена модель була  $P/D$  - відношення ідентифікована на натурних даних та виявилася ефективною згідно з такими статистичними критеріями: критерій випадковості, критерій  $0.674\sigma$  і коефіцієнт кореляції. Близько 70% значень були передбачені з задовільною точністю. Проведено моделювання змін евтрофної водойми за  $P/D$ -відношенням та визначено характеристику зміни параметрів моделі продукційної-деструкційні відносини у водній екосистемі. Результати досліджень показали, що при збільшенні  $P/D$ -відношення спостерігається чітка тенденція до зменшення рН води (кисле середовище), збільшення мутності води, температури, біогенних речовин. Виявлені залежності між  $P/D$  з відповідними значеннями фосфору, азоту та рН. Проведено розрахунок  $P/D$  - відношення водної системи після очищення пробіотиком (СвітекоАгробіотик-01, розбавлення 1:100). Визначено, що відношення  $P/D$  після очистки значно знизилося у всіх зразках води. Таким чином, запропоновану модель можна використовувати як в геоекологічних дослідженнях для прогнозування стану водної екосистеми, так і для характеристики параметрів, що впливають на процес евтрофікації

водоймища та їх лімітування, а також регулювання даного процесу на основі контролю вхідних параметрів та розробки рекомендацій щодо відновлення водних об'єктів.

Проведена оцінка стійкості водних екосистем до антропогенної евтрофікації на чотирьох ділянках р. Ворскла, на основі чого розроблені рекомендації регулювання евтрофікації водних систем для існуючого, оптимального та перспективного сценарію. Проведена оцінка зменшення антропогенного навантаження на ділянках р. Ворскла за P/D-відношенням. Отже, використання авторської моделі P/D-відношення дозволить не тільки контролювати здатність системи до самоочищення, але і вчасно визначати вплив лімітуючих факторів та їх причини, що дозволить більш повно досліджувати та регулювати процес евтрофікації водної системи.