

РОЗРАХУНКОВІ ПОКАЗНИКИ ДЛЯ КРИТЕРІЇВ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ РІВНІВ ВІДБОРУ ВОДИ З МАЛИХ РІЧОК

Л. Я. Аніщенко –

Український науково-дослідний інститут екологічних проблем

В статье обсуждаются методические подходы к моделированию критериев экологически безопасного отбора стока из малых рек и адаптация этих критериев на конкретных водных объектах. В качестве таких критериев рассматриваются внутриводоемные процессы, которые оцениваются по показателям: БПК общее, биомасса фитопланктона, уровень насыщения воды растворенным кислородом. Прогнозные поливариантные расчеты позволили количественно оценить экологически безопасные уровни отбора стока из малых рек, при которых сохранится самоочищающая способность водного объекта.

A conception, methodology with mathematic modelling of parametres of criterias for environmental safety of small rivers' water abstraction are produced in the article. Computational parametres are: BOD total, dissolved oxygen contents, phytoplankton biomass. The processes into water body are described with these parametres. Computer polyvariant projections have enable to make a quantitative assessment of small rivers' water abstraction which would safe-guard selfpurification processes in the water body.

Сучасний рівень антропогенного навантаження на водні екосистеми, водозатратна технологія використання водних ресурсів з безповоротними відборами води без урахування екологічних вимог призвели до суттєвих деструктивних змін на більшості водних об'єктів України. На багатьох річках повне водоспоживання значно перевищує можливості водних ресурсів. За умов ненормованих відборів води і зарегульованості стоку екосистеми ряду річок, особливо малих, функціонують переважно у середньо- та маловодних умовах, а у весняний період – у виключно маловодних. Проточність річок при цьому зменшується, зменшується і самоочисна їх здатність, якість води погіршується. Більшість заплав, які мають велике значення для відтворення рибних запасів, чисельності водоплавних птахів, високих врожаїв лучних трав, а також виконують роль бар'єра забрудненому стоку з поверхні водозбору, осуходолені й знаходяться у повній деградації. Усе це веде до загострення екологічної ситуації та падіння біологічної продуктивності екосистем.

За таких обставин виникає нагальна потреба розробити й увести обмеження на відбори поверхневого стоку з малих річок. При цьому ступінь і характер регулювання річкового стоку та нормування екологічно безпечного його вилучення повинні бути взаємно пов'язані.

На сьогодні єдиних методичних підходів до оцінки екологічно допустимих рівнів відбору води з річок не існує. На Україні до цього часу в практиці водогосподарського проектування за санітарними критеріями як гарантовані мінімальні витрати води у руслі приймаються найменші середньомісячні (або й середньодобові) витрати води в маловод-

ному році, що повторюється один раз на 20 років. Визначення таких санітарних витрат води екологічно не обґрунтоване і може привести при їх дотриманні до незворотних змін в екосистемах.

В [1] був запропонований системний підхід до визначення основних чинників і розрахункових критеріїв допустимих рівнів відбору води з річок з метою збереження сталого функціонування їх екосистем.

Аналіз факторів, які обумовлюють збереження сталого функціонування річкових екосистем, показав, що задача визначення екологічно допустимих рівнів відбору води з річок є багатокритеріальною.

Вибір критеріїв екологічно безпечного відбору стоку з річок здійснений згідно з установленими факторами і загальною концепцією, за якою річки розглядаються як водні екосистеми, складені з абіотичних та біотичних компонентів.

Основними критеріями при цьому визначені:

- гідрологічні;
- екологічні;
- санітарно-гігієнічні;
- водогосподарські та інші.

До головних критеріїв, які потребують розрахункових оцінок, віднесені:

- гідрологічні, у тому числі ті, що забезпечують самовідтворення річкової екосистеми;
- екологічні, зокрема ті, що визначають параметри процесів природного самоочищення і стану біоти в екосистемі.

Ключовими процесами, параметри яких мають визначити екологічно допустимий рівень відбору стоку з річки, визнано:

- з абіотичних – процеси руслоформування і створення сприятливого гідрологічного режиму для річкових екосистем;
- з біотичних – процеси первинної продукції й деструкції органічної речовини.

У даній роботі обговорюються застосовані в методиці [1] принципи моделювання критеріїв екологічно безпечного, щодо перебігу внутрішньоводоймових процесів, відбору стоку та адаптація цих критеріїв для конкретних водних об'єктів.

Приймається, що екологічно безпечний перебіг внутрішньоводоймових процесів – це такий, що обумовлює збереження самоочисної здатності водоймища.

Показниками, за динамікою яких у методиці оцінюється перебіг продукційно-деструкційних процесів в екосистемах малих річок та їх здатність до самоочищення, визначено такі:

- біомаса фітопланктону (з урахуванням біомаси бентосних водоростей, що виноситься з річковим стоком);
- рівень насичення води розчиненим киснем, погіршення якого призводить влітку до уповільнення процесів самоочищення, а взимку – до заморів риби;
- рівень вмісту біологічно-м'яких органічних сполук автохтонного й алохтонного походження за інтегральним показником БСК_{повн}.

Останні два показники є нормованими для всіх категорій водних об'єктів України та всіх видів стічних вод і використовуються для оцінки якості поверхневих вод.

Екологічно безпечні рівні відбору стоку обмежуються мінімально допустимими витратами води, які визначаються за умов, при яких жоден із розрахункових показників якості води не перевищує нормативних значень, а здатність екосистеми до самоочищення можна оцінити за тенденцією зміни цих показників по довжині водотоку.

Інші показники якості води за цією методикою не обраховуються, бо питання забезпечення задовільної якості води за ними врегульовані іншими нормативними документами, вимоги яких повинні також ураховуватися при визначенні допустимих рівнів відбору води з річок.

На розрахункових ділянках методикою враховуються:

- вплив приток;
- вплив скидів стічних вод;
- вплив заборів води для водогосподарських потреб.

Розрахунковими періодами для визначення екологічно допустимих рівнів відбору води з річок щодо оцінки рівня продукційно-деструкційних процесів прийнято літню й зимову межень.

Для кількісної характеристики процесів самоочищення води в екосистемах малих річок використано систему розрахунків, запропоновану в [2],

далі розвинути в [3–5] та модифіковану для умов моделювання критеріїв екологічно безпечних рівнів відбору води з річок.

У цій системі розрахунків гідробіологічні процеси продукції й деструкції органічної речовини розглядаються як такі, що визначають опосередковану залежність показників якості води від природних і антропогенних гідрологічних, гідрофізичних та гідрохімічних чинників (H_n). Такими чинниками, зокрема, є параметри русла, швидкість течії водотоку та антропогенне хімічне забруднення, що змінюються відповідно до оцінюваних варіантів відбору стоку. Обраний підхід дозволяє кількісно оцінювати вплив водогосподарської діяльності на водотоки, відображаючи його у нормованих за існуючою нормативною базою показниках якості води.

Розрахунковими показниками обрані біомаса фітопланктону (B), вміст у воді розчиненого кисню (C_{PK}) і біологічно-м'яких органічних сполук за інтегральним показником БСК_{повн} ($C_{БСК}$). Ці показники входять у число найбільш важливих не тільки щодо санітарно-гігієнічної оцінки якості води, але й щодо оцінки екологічного стану водних екосистем, тому оцінка впливу водогосподарської діяльності на водні об'єкти обов'язково повинна базуватися на кількісних прогнозних розрахунках цих показників для оцінюваних варіантів діяльності.

Це прогнозування має певні складнощі, бо повинно враховувати як алохтонні, так і автохтонні складові формування обраних показників, причому останні складові залежать від цілого комплексу як природних, так і антропогенних чинників. Єдино можливим за цих умов уявляється здійснення такого прогнозування з використанням математичних моделей та сучасної обчислювальної техніки.

У системі розрахунків моделі кількісно оцінюється динаміка розчиненого кисню і БСК_{повн} по довжині водотоку за балансом продукційно-деструкційних процесів у його екосистемі:

$$C_{PK} = F_1(A(H_n)) - R(H_n), \quad (1)$$

$$C_{БСК} = F_2(A(H_n)) - R(H_n), \quad (2)$$

де A – величина середньодобової валової первинної продукції фотосинтезуючих організмів, R – величина середньодобової деструкції органічної речовини, які (так само, як C_{PK} і $C_{БСК}$) виражені в однакових одиницях виміру – $гО_2 м^{-3}$.

Валова первинна продукція A розраховується, виходячи з питомої первинної продукції одиниці біомаси водоростей і вищих водних рослин a та їх біомаси B :

$$A = a(H_n, B) \cdot B(H_n). \quad (3)$$

Питома продукційна спроможність залежить від складу й біомаси фітопланктону, сезону, що обумовлює рівень освітленості та температуру води, форми поперечного перерізу потоку, вмісту біо-

генних та завислих речовин, швидкості течії, впливу гідротехнічних споруд (H_n), а також знаходиться у оберненій криволінійній залежності від біомаси.

Усі ці залежності кількісно описуються за результатами натурних досліджень на обраному водотоці, а також за узагальненими результатами досліджень водотоків-аналогів.

Деструкція органічних речовин R визначається за сумарним споживанням кисню (диханням) рослин, безхребетних тварин і бактерій з урахуванням впливу на дихання гідробіонтів інтенсивності їх метаболізму, яка залежить від фізіологічного стану, а також від температури води, концентрації розчиненого кисню й органічних сполук.

При визначенні концентрації розчиненого кисню враховуються процеси атмосферної реаерації води.

Розрахунки виконуються шляхом розв'язання чисельними методами системи диференціальних рівнянь з уведенням до опису процесів таких спрощень:

- розподіл у поперечному перерізі водотоку розчинених речовин і завислих часток вважається рівномірним;
- швидкість їх переміщення у потоці приймається дорівнюючою середній швидкості течії (V);
- надходження речовин ззовні до водотоку враховується тільки як точкові скиди або притоки з умовою миттєвого повного змішування потоків;
- розрахунковий відрізок водотоку розбивається на ряд розрахункових ділянок, у межах кожної з яких значення основних параметрів і коефіцієнтів моделі приймаються постійними або такими, що змінюються стрибкоподібно в створах скидів;
- розрахунковим періодом звичайно є сезон року, в межах якого кліматичні та метеорологічні умови розглядаються як незмінні.

У типових розрахункових випадках ураховуються ситуації як з помірним розвитком фітопланктону, так і такі, коли його інтенсивний розвиток може викликати біологічне забруднення. Ці ситуації охоплюють:

- 1) надходження маси синьо-зелених водоростей із зарегульованої ділянки (наприклад, водосховища) у періоди цвітіння води (літо);
- 2) масовий розвиток планктонних діатомових водоростей (весна);
- 3) масовий розвиток літнього планктону у частково зарегульованих (підпертих) ділянках;
- 4) помірну вегетацію фітопланктону в різні сезони, коли біологічне забруднення головним чином не виникає.

Для визначення екологічно безпечних рівнів відбору води з річок згідно з системою розрахунків (1 – 3) необхідні дані чотирьох типів:

- 1) гідрологічні дані – інформація про параметри поперечних перерізів, витрати води в гідрометричних створах і видалення цих створів від

початку розрахункового відрізка водотоку (до параметрів поперечного перетину входять: обмірювані при максимальній розрахунковій витраті в кожному перетині значення глибини води, відстані від точок промірів до урізу води і повної ширини потоку, а також розмір падіння рівня води при заданих витратах у порівнянні з максимальною розрахунковою витратою);

- 2) початкові значення розрахункових показників якості води: $C_{БСК}$, $C_{РК}$, B ;
- 3) параметри моделі – значення коефіцієнтів моделі і фізико-хімічних показників, що є константами в межах розрахункових ділянок, на які розбивається розрахунковий відрізок водотоку, а також координати кінця кожної ділянки. Кінець останньої ділянки визначає точку зупинки розрахунку;
- 4) параметри скидів – інформація про розмір витрат води і значення фізико-хімічних показників (включаючи розрахункові) у точках скидання стічних вод і в гирлах приток та їхнє видалення від початку розрахункового відрізка водотоку.

Гідробіологічні дослідження на розрахункових ділянках повинні включати насамперед визначення первинної продукції й деструкції у поверхневому шарі води з паралельним визначенням якісного складу й біомаси фітопланктону, температури води, вмісту розчиненого кисню та прозорості за диском Сєкі, що бажано повторити кілька разів за період літньої межени. При цьому вимірювання необхідно проводити одночасно для початку та кінця розрахункової ділянки, а також для водосховища або ставка, якщо такі є біля початку ділянки, якісного складу та проективного покриття потоку заростями макроводоростей і вищих водних рослин при різних рівнях води, ступінь затінення води деревною рослинністю. При нестачі відомчих гідрохімічних даних потрібно також проведення гідрохімічних аналізів проб води з означених створів за показниками БСК₅ (з наступним перерахуванням у БСК_{повн.}), вміст завислих домішок, вміст форм мінерального азоту.

Для апробації зазначеної методики була вибрана р. Ірша – ліва притока р. Тетерева (басейн Дніпра). Довжина ріки 136 км, долина переважно трапецієподібна, річище слабозвивисте, ширина його до 15 м. На річці споруджено 3 водосховища (Іршанське, Дворічанське, Малинське) і 46 ставків. Воду головним чином використовують для технічного водопостачання та сільськогосподарських потреб.

При виборі розрахункових ділянок керувались наявністю таких ознак, як відсутність у межах ділянок водосховищ та ставків, наявність сформованого русла і постійного стоку, відсутність приток, стік яких близький до стоку досліджуваної річки, наявність стаціонарного водомірного пункту. Згідно з цим розрахунковий відрізок р. Ірші розбито на дві ділянки – окремі об'єкти: перший – від насе-

леного пункту Чоповичі до початку Малинського водосховища і другий – від нижнього б'єфа греблі водосховища до гирла. За натурними даними вимірювань поперечних перерізів русла заповнюються допоміжні таблиці перерізів у гідрологічній матриці моделі. Згідно з витратами води р. Ірші вибираються розрахункові варіанти з мінімальними витратами літньої та зимової межні для років 95, 75, 50 % забезпеченості стоку, а також підвищені витрати: 5, 10 і 20 м³с⁻¹. Згідно з умовами перебігу внутрішньоводоймових процесів, що моделюються, до цих варіантів додаються біотичні характеристики:

- 1) літня межень – помірний планктон;
- 2) літня межень – надходження води з поверхневих шарів водосховища під час цвітіння;
- 3) зимова межень, умови льодоставу зі сніговим покривом – відсутність фотосинтезу й атмосферної реаерації.

Ураховані джерела скидів – це Малинська паперова фабрика і Пенізевицький щебеневий завод № 6, розміщені відповідно на початку та в середині другої розрахункової ділянки.

Розрахункові показники визначаються в контрольних створах у кінці розрахункових ділянок.

У табл. 1 наведено результати для першої розрахункової ділянки.

Початкові значення розрахункових показників річки відповідають умовам, за яких забруднення річки на початку ділянки – нижче населеного пункту Чоповичі – знаходиться в межах нормативно-припустимого. У цьому випадку упродовж ділянки за період Т (час перебування води між початковим і кінцевим створом) відбувається збільшення біомаси фітопланктону, яке знаходиться у оберненій залежності від витрат води, але навіть при найменшій розрахунковій витраті біомаса не перевищує 4 гм⁻³ і не викликає погіршення екологічного стану річки, зокрема, значення БСК_{повн.} не перевищують

нормативно-допустимих. Зростання середньодобової концентрації розчиненого кисню викликано фотосинтезом водоростей у планктоні та бентосі, а її стабілізація наприкінці ділянки є наслідком реаерації, коли при перенасиченні води киснем останній частково переходить у повітря.

Різниця між варіантами 1–3 і трьома наступними полягає в тому, що початкове значення БСК_{повн.} в останніх прийнято на рівні 5 гО₂·м⁻³, що відповідає умовам забруднення вищерозташованої ділянки стічними водами. В цьому випадку самоочищення води до нормативно-допустимих значень БСК_{повн.} не досягається ні за яких з розглянутих витрат, але звертає на себе увагу пряма залежність між кінцевими значеннями цього показника й величинами витрат. Причинами такої залежності є те, що із зменшенням витрат води, по-перше, збільшується час перебування одиничного об'єму води в межах ділянки, по-друге, зменшується середня глибина потоку і як наслідок – збільшується відношення площі дна до об'єму води над ним, а це обумовлює більш інтенсивну деструкцію органічних речовин мікробентосом. Слід відзначити, що при найменшій розрахунковій витраті зниження значень БСК_{повн.} наприкінці розрахункової ділянки майже повністю припиняється, що свідчить про досягнення рівноваги між процесами продукції й деструкції, тому подальше збільшення часу перебування не може покращити глибину самоочищення за цим показником.

Розрахункові варіанти 7 і 8 відповідають умовам зимової межні для маловодних років 50 і 95 % забезпеченості за наявності повного розсіювання світла льодовим та сніговим покривом із забрудненням вище розташованої ділянки стічними водами (що відображено підвищеним початковим значенням БСК_{повн.} і зменшеною початковою концентрацією розчиненого кисню). У цих

Таблиця 1

Результати розрахунків значень показників якості води, залежних від продукційно-деструкційних процесів, на ділянці р. Ірша від населеного пункту Чоповичі до Малинського водосховища (ділянка 1)

№ варіанту	Сезон	Витрати, м ³ с ⁻¹			Початкові значення			Т, діб	V середня на ділянці, мс ⁻¹	Кінцеві значення		
		забезпеченість, %	початкові м ³ с ⁻¹	кінцеві м ³ с ⁻¹	С _{рк} гО ₂ × м ⁻³	С _{бск} гО ₂ × м ⁻³	В гм ⁻³			С _{рк} гО ₂ × м ⁻³	С _{бск} гО ₂ × м ⁻³	В гм ⁻³
1	літо	50	1,7	1,7	8,0	3,0	1,0	0,7	0,324	9,63	2,96	2,71
2	літо	75	1,0	1,0	8,0	3,0	1,0	0,9	0,256	9,76	2,87	3,19
3	літо	95	0,5	0,5	8,0	3,0	1,0	1,2	0,186	9,82	2,87	3,98
4	літо	50	1,7	1,7	8,0	5,0	1,0	0,7	0,324	9,42	4,28	2,75
5	літо	75	1,0	1,0	8,0	5,0	1,0	0,9	0,256	9,57	3,92	3,23
6	літо	95	0,5	0,5	8,0	5,0	1,0	1,2	0,186	9,69	3,54	3,99
7	зима	50	1,7	1,7	6,0	5,0	1,0	0,7	0,324	5,52	4,54	0,89
8	зима	95	0,5	0,5	6,0	5,0	1,0	1,2	0,186	4,88	3,94	0,81

варіантах моделюванням ураховано уповільнення процесів деструкції в зимовий період, відсутність фотосинтезу та атмосферної реаерації. За цих умов спостерігається пряма залежність кінцевих значень витрат води і зменшення їх поточних значень уздовж ділянки. Навіть при найменшій розрахунковій витраті концентрація розчиненого кисню ще є нормативно допустимою (гранично допустиме мінімальне значення цього показника для Ірші, яка є рибогосподарським об'єктом другої категорії, в зимовий період дорівнює $4 \text{ гO}_2 \cdot \text{м}^{-3}$), але подальше її зниження може бути екологічно шкідливим. Значення БСК_{повн.} у варіантах 7 і 8 ще залишається наднормативним у контрольному створі.

Таким чином, згідно з результатами розрахунків за обраними критеріями на першій розрахунковій ділянці р. Ірші у випадку її підвищеного забруднення відбір стоку є неможливим, але при відсутності алохтонного забруднення навіть відбір стоку до

рівня розрахункових межених витрат дуже маловодного року 95 % забезпеченості не призведе до погіршення якості води.

У табл. 2 наведено результати розрахунків для другої розрахункової ділянки ріки – від нижнього б'єфа греблі Малинського водосховища до гирла.

Перші три варіанти таблиці відображають гідрологічні умови літньої межени для маловодних років, відповідно, 50, 75 і 95 % забезпеченості. Початкові значення розрахункових показників екологічного стану річки відповідають звичайним умовам вище скиду стічних вод Малинської паперової фабрики. За умовами розрахунків ці стічні води потрапляють у річку на відстані 100 м нижче початку ділянки, після чого відбувається поступове самоочищення забрудненої річкової води і водночас поступово збільшується біомаса фітопланктону. В перших трьох варіантах параметри скидів прийняті середніми. Залежно від витрат води обчислений машиною час добіган-

Таблиця 2

Результати розрахунків значень показників якості води, залежних від продукційно-деструкційних процесів, на ділянці р. Ірша від нижнього б'єфа Малинського водосховища до гирла (ділянка 2)

№ варіанта	Сезон	Витрати, $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$			Початкові значення			Т, діб	V середня на ділянці, $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$	Кінцеві значення		
		забезпеченість, %	початкові, $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$	кінцеві, $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$	$C_{PK} \text{ гO}_2 \cdot \text{м}^{-3}$	$C_{БСК} \text{ гO}_2 \cdot \text{м}^{-3}$	В гм^{-3}			$C_{БСК} \text{ гO}_2 \cdot \text{м}^{-3}$	$C_{БСК} \text{ гO}_2 \cdot \text{м}^{-3}$	В гм^{-3}
9	літо	50	1,4	1,8	8,0	3,0	1,0	1,1	0,309	9,54	2,88	3,44
10	літо	75	0,9	1,3	8,0	3,0	1,0	1,5	0,226	9,58	2,96	4,20
11	літо	95	0,6	0,7	8,0	3,0	1,0	1,8	0,198	9,63	2,65	4,49
12	літо	50	1,4	1,8	8,0	3,0	1,0	1,1	0,310	9,43	3,98	3,53
13	літо	75	0,9	1,3	8,0	3,0	1,0	1,5	0,227	9,46	4,01	4,31
14	літо	95	0,6	0,7	8,0	3,0	1,0	1,7	0,199	9,55	3,27	4,53
15	літо	-	5,0	5,0	8,0	3,0	1,0	1,9	0,406	9,52	3,80	2,91
16	літо	-	20,0	20,0	8,0	3,0	1,0	0,5	0,667	9,00	3,36	1,77
17	літо	50	1,4	1,8	8,0	5,0	10,0	1,1	0,309	9,50	5,70	5,74
18	літо	75	0,9	1,3	8,0	5,0	10,0	1,5	0,226	9,57	6,04	6,95
19	літо	95	0,6	0,7	8,0	5,0	10,0	1,8	0,198	9,62	5,03	6,86
20	літо	50	1,4	1,8	8,0	5,0	10,0	1,1	0,310	9,43	7,15	6,04
21	літо	95	0,6	0,7	8,0	5,0	10,0	1,7	0,199	9,54	6,34	7,51
22	зима	50	1,9	2,4	8,0	3,0	1,0	1,2	0,283	7,30	2,98	0,71
23	зима	95	0,6	0,7	8,0	3,0	1,0	1,8	0,198	5,74	2,76	0,47
24	зима	-	5,0	5,0	8,0	3,0	1,0	0,9	0,405	7,68	2,92	0,83
25	зима	50	1,9	2,4	8,0	3,0	1,0	1,2	0,283	6,98	4,80	0,70
26	зима	95	0,6	0,7	8,0	3,0	1,0	1,7	0,199	4,15	7,15	0,46
27	зима	-	20,0	20,0	8,0	3,0	1,0	0,5	0,667	7,88	3,14	0,91

Примітка. У варіантах 24, 25, 26, 27 витрата промислових та господарчо-побутових стічних вод м. Малина дорівнює $0,25 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$, БСК_{повн.} – $23,8 \text{ гO}_2 \cdot \text{м}^{-3}$; у решті варіантів – відповідно, $0,22 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ і $8,6 \text{ гO}_2 \cdot \text{м}^{-3}$.

ня потоку від початку ділянки до гирла (T) у цих варіантах становить від 1,1 до 1,8 доби при середній швидкості від 0,2 до 0,3 $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$. Біомаса фітопланктону (B) наприкінці ділянки оцінюється як помірна, значення $B_{\text{СКповн}}$ ($C_{\text{БК}}$) нижче граничнодопустимого ($3 \text{г} \cdot \text{O}_2 \cdot \text{м}^{-3}$). Звертає на себе увагу, що глибина самоочищення збільшується із зменшенням витрат води в річці, незважаючи на те, що у районі скиду стічних вод забруднення є найбільшим при найменших витратах річкової води. Порівняння динаміки розрахункових показників на цій ділянці, зокрема наявність зростання $B_{\text{СКповн}}$ наприкінці ділянки при мінімальній розрахунковій витраті, дає підстави вважати, що подальше зменшення витрат погіршить кінцевий результат розрахунку внаслідок прогресуючого підвищення кінцевих значень біомаси планктонних водоростей.

Умови, прийняті у наступних п'яти варіантах, відрізняються від попередніх підвищеним рівнем алохтонного забруднення на початку ділянки і розширеним діапазоном розрахункових витрат води. Найбільший ступінь самоочищення в цій групі варіантів також досягається при найменшій витраті річкової води, але оскільки при цьому кінцеве значення $B_{\text{СКповн}}$ дещо вище допустимого, розрахунки проведено і при підвищених витратах (з очікуванням, що збільшення кратності розведення стічних вод може покращити результат розрахунку), але навіть при витраті $20 \text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ нормативне значення цього показника не досягається. Таким чином, при надмірній кількості органічних забруднень, що надходять до річища зі стічними водами, нормативне значення $B_{\text{СКповн}}$ у гирлі річки не досягається ні при яких практично можливих у межень витратах, але й при такому забрудненні результати розрахунків свідчать, що зменшення витрат води до $0,6 \text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ не призводить до зменшення здатності річкової екосистеми до самоочищення.

У наступних п'яти варіантах початкова біомаса фітопланктону прийнята $10 \text{г} \cdot \text{м}^{-3}$ (відповідно до визначеної у пробі води з поверхневого шару водосховища біомаси водоростей, яка може при певних умовах потрапляти до нижнього б'єфа). У такій ситуації біомаса фітопланктону зменшується у напрямку до гирла (у розрахунках враховано непристосованість стагнофільних синьо-зелених водоростей до річкових умов), або повільно зростає після розбавлення стічними водами при дуже малих витратах. Підвищений кінцевий рівень БСК у цих варіантах обумовлений, головним чином, присутністю у воді органічних речовин, а саме планктонних водоростей, і тому згідно з нормативними документами може вважатися допустимим. Найнижчі значення БСК при цьому, як і в попередніх варіантах, зафіксовані при найменшій розрахунковій витраті.

Решта варіантів відтворює екологічно найменш сприятливі умови зимової межені (повна відсутність фотосинтезу й атмосферної реаерації, уповільнення процесів деструкції в умовах низьких температур). Як і влітку, в цих варіантах, при середній кількості забруднень у скидах, задовільний ступінь самоочищення зафіксовано навіть при найменшій розрахунковій витраті, але в цьому випадку значно зменшується кількість розчиненого у воді кисню, особливо при початковій концентрації розчиненого кисню $6 \text{г} \cdot \text{O}_2 \cdot \text{м}^{-3}$. Виходячи з цього, слід вважати найменшою допустимою витратою в період льодоставу – $1 \text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ за умов середнього забруднення і $2 \text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ за умов максимального забруднення. Слід зазначити, що в зимових умовах, згідно з результатами розрахунків, при надмірному рівні забруднення стічними водами збільшення витрат річкової води веде до суттєвого поліпшення її якості (останні три варіанти), що треба враховувати у відповідних ситуаціях.

Аналіз результатів розрахунків дозволяє зробити такі загальні висновки.

Екосистема р. Ірша характеризується високою здатністю до самоочищення й підтримання задовільного екологічного стану у широкому діапазоні витрат води, починаючи з таких, що відповідають умовам літньої та зимової межені дуже маловодного року 95 % забезпеченості.

При звичайному для сучасних умов рівні забруднення річки стічними водами значення розрахункових показників у кінцевому створі відповідають задовільному екологічному стану водної екосистеми і не перевищують ГДК.

У випадку надмірного забруднення з боку промислових підприємств м. Малина підвищений рівень забруднення за показником $B_{\text{СКповн}}$ зберігається до кінцевого створу, і навіть здійснення при цьому попусків води з Малинського водосховища з витратами до $20 \text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$ не може повністю нормалізувати це становище. Підвищений рівень біомаси фітопланктону і пов'язані з цим підвищені значення $B_{\text{СКповн}}$ у кінцевому створі можуть мати місце за умов виносу водоростей з Малинського водосховища під час цвітіння води у ньому. Але й у цих випадках за результатами розрахунків зменшення витрат у річці не призводить до погіршення ситуації в Ірші, натомість дозволяє зменшити масу водоростей і органічних речовин техногенного походження, що виноситимуться у р. Тетерів.

В умовах льодоставу з наявністю снігового покриву при мінімальних витратах можливе виникнення дефіциту кисню. При звичайному рівні забруднення достатньою для запобігання цьому є витрата, що дорівнює $1 \text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$. При підвищенні рівня забруднення в цей період потрібно відповідно збільшувати витрати води у річці за рахунок припинення відбору річкового стоку й здійснення додаткових попусків із водосховища.

ВИСНОВКИ

Запропоновано критерії визначення екологічно безпечних за балансом процесів продукції та деструкції в екосистемі рівнів відбору води з річок. Для реалізації цих критеріїв використано систему розрахунків, запропоновану в [2], яка модифікована для вимог задачі відбору стоку, з урахуванням особливостей самоочищення річкових екосистем (споживання кисню й деструкція органічних речовин угрупованнями бентосу, виділення фітобентосом кисню у процесі фотосинтезу й перехід частини біомаси бентосних водоростей до планктону).

На прикладі р. Ірші визначені екологічно безпечні мінімальні витрати води згідно з запропонованою системою розрахунків.

Викладені результати дають підстави вважати, що **запропоновані критерії та система розрахунків забезпечують** урахування у розрахунках значного числа вагомих гідрологічних, гідротехнічних та гідробіологічних чинників, перегляд великої кількості варіантів природних та антропогенних впливів на річкові екосистеми регламентує розміри безповоротного водовідведення й **одержання обґрунтованої оцінки екологічно безпечних мінімальних витрат води, які необхідно резервувати у річищі в різні фази гідрологічного режиму для збереження сталого функціонування річкової екосистеми і які не підривають її здатності до самоочищення.**

ЛІТЕРАТУРА

1. Яцик А.В., Бишовець Л.Б., Кириченко С.М., Кудріна А.В., Аніщенко Л.Я. та ін. Методика визначення екологічно допустимих рівнів відбору води з річок з метою збереження сталого функціонування їх екосистем. – К.: Оріяте, 2002. – 47 с.
2. Романенко В.Д., Оксик О.П., Жукинський В.Н., Стольберг Ф.В., Лаврик В.И. Экологическая оценка воздействия гидротехнического строительства на водные объекты. – К.: Наук. думка, 1990. – 256 с.
3. Анищенко Л.Я., Свердлов Б.С. Оценка воздействия проектируемого Крапивинского гидроузла на экосистему равнинной реки. – В кн.: Тез. докл. междунар. семинара ЮНЕСКО и 1-й Межреспубликанской конф. «Оценка воздействий на окружающую среду: методология и практические приложения». – М., 1991. – С. 31–33.
4. Анищенко Л.Я., Свердлов Б.С., Миланич А.Ю., Стольберг Ф.В. Моделирование продукционных процессов в водотоках с азотным лимитированием фитопланктона // Проблемы охраны навколишнього природного середовища та техногенної безпеки: Зб. наук. праць – Харків: УкрНДІЕП, 2000. – С. 106–111.
5. Анищенко Л.Я., Свердлов Б.С., Бармина И.В., Погосян С.Н. Оценка воздействия каскада ГЭС на качество воды р. Тиса // Проблемы охраны навколишнього природного середовища та техногенної безпеки: Зб. наук. праць – Харків: УкрНДІЕП, 2001. – С. 216–227.