

МЕЛІОРАЦІЯ МАЛИХ РІЧОК ШЛЯХОМ РОЗБАВЛЕННЯ З ПОПЕРЕДНЬО ОЧИЩЕНИМИ СТІЧНИМИ ВОДАМИ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ В УМОВАХ ПІДВИЩЕНОГО ГІДРОХІМІЧНОГО ФОНУ ТА МАЛИХ ВИТРАТ ВОДИ

Атаєв С.В.

Дубенська філія

Відкритого міжнародного університету розвитку людини «Україна»

вул. Шевченка, 14, 35600, м. Дубно, Рівненська область

atajev@ukr.net

Наводяться результати досліджень якості води малих річок у районі випусків попередньо очищених господарсько-побутових стічних вод населених пунктів в умовах фонові забрудненості та малих витрат води. Виявлено закономірності поширення та асиміляції забруднень стічних вод під час турбулентного перемішування та розбавлення з річковою водою, охарактеризовано основні фактори, які визначають ефект самоочисної здатності малих річок. Серед основних причин погіршення фонові стану малих річок – зменшення самоочисної здатності вниз за течією після водовипусків – насамперед виділяємо низькі витрати річкового стоку, що не справляються з додатковим забрудненням. На досвіді введення в експлуатацію каналізаційних комплексів встановлено, що саме зниження самоочисної здатності річок є однією з перешкодок утилізації господарсько-побутових стічних вод шляхом розбавлення з річковою водою. Погіршення стану річок через залпові скиди не досить очищених стічних вод створює проблеми під час введення в експлуатацію нових каналізаційних комплексів, відновлення ефективної роботи об'єктів, що фізично та морально застаріли. На прикладі малих річок басейнів Дніпра та Дністра, що протікають через територію населених пунктів, доведено можливість покращення якості води за такими показниками, як вміст фосфатів, азоту амонійного, БПК під час раціонально обгрунтованих скидів досить очищених стічних вод. Практика показує, що за певного співвідношення витрат стічних вод та річкового стоку можна досягати меліоративного ефекту в забруднених річках. Тривалість такого ефекту залежить від особливостей режиму та морфологічних характеристик річок. Під час врахування здатності річок знешкоджувати забруднення стічних вод ефективна експлуатація каналізаційних споруд може виступати одним із меліоративних заходів покращення їхнього стану з урахуванням наявних і запланованих випусків стічних вод. *Ключові слова:* стічні води, витрата, фон, мала річка, асиміляція.

Melioration of the small rivers by dilution with preliminary purified-sewages of settlements in the conditions of an increase hydro-chemical background and small charges of water. Atajev S.

Results of researches of water quality of small rivers in the area you launches pre-treated domestic wastewater of settlements in terms of background contamination and low flow water. The regularities of distribution and assimilation of wastewater pollution with turbulent mixing and dilution with the river water, the main factors that determine the effect smooches ability of small rivers. Among the main reasons for deteriorating background state of small rivers, reducing smooches the quality downstream after water outlets, primarily allocated to the low costs of runoff that cannot cope with the additional pollution. On the experience of the commissioning of the sewage of the complexes was determined that a decline in smooches the ability of rivers is one of the barriers of the disposal of household sewage by dilution with river water. Worsening of the state of the rivers through volley upcasts purified sewages not enough create problems at introduction to exploitation of new sewage complexes, proceeding in effective work of objects, which physically and morally became antiquated. On the example of small rivers in the basins of the Dnieper and Dniester, flowing through the territory of settlements, proved the possibility of water quality improvement on indicators such as content of phosphates, ammonia nitrogen, BOD at rationally justifiable enough discharges treated wastewater. Practice shows that at some value of the cost of treated sewage and river flow, can be achieved ameliorative effect in polluted rivers. The duration of this effect depends on the nature of the regime and morphological characteristics of the rivers. Taking into account the ability of small rivers to neutralize wastewater pollution efficient operation of wastewater facilities can be one of the ameliorative measures to improve their status taking into account existing and planned wastewater discharges. *Key words:* sewer water, expense, background, small river, assimilation.

Постановка проблеми. Сьогодні особливо потерпають від забруднень господарсько-побутових стічних вод малі річки України. Погіршення стану річок характерне як для району організованих скидів стічних вод за межами території населених пунктів, так і для неорганізованих у межах селітебних територій [1–3]. Річковий стік не справляється із забруд-

неннями стічних вод, особливо в ситуаціях, коли витрата стоків у кілька разів перевищує витрату води у річці. На самоочисну здатність річки також впливають особливості її режиму, кліматичні зміни річкового басейну, трансформація заплави і т. д.

Актуальність дослідження. Сукупність властивостей самоочищення та розбавлення привнесених

забруднюючих речовин у водному середовищі, зменшення їхнього вмісту становлять асимілюючу здатність річки [4–6]. Саме асимілююча здатність річки дає змогу скинути на цій ділянці водотоку певну витрату стічних вод із обмеженим вмістом забруднюючих речовин за умови, що зміни якості води у відповідному створі річки будуть у межах допустимих норм.

Одним із найефективніших процесів зменшення вмісту забруднюючих речовин у воді є розбавлення, яке полягає у змішуванні річкової води зі стічними водами. Як правило, річкової води набагато більше, і вона значно чистіша, ніж стічна, тому саме розбавлення вносить найбільший внесок у зменшення концентрацій забруднюючих речовин. Але ефект розбавлення стічних вод змінюється за умови, коли для річки в районі водовипусків характерні малі витрати води. Ситуація ускладнюється наявністю декількох випусків стічних вод, які забруднюють малу річку одночасно, тому поява нових каналізаційних комплексів в умовах підвищеного гідрохімічного фону може призводити до її деградації.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. Основна ідея чинного законодавства з нормування скидів стічних вод у природні водойми від стаціонарних водовипусків зводиться до визначення маси забруднюючих речовин у стоках, їхнього допустимого вмісту під час відведення у водойму з метою досягнення екологічного нормативу (ГДК) у контрольному створі [4; 5]. На думку авторів [4; 5], критерій безпеки вмісту певної забруднюючої речовини у воді можна сформулювати так: вода, що має у своєму складі речовину в одній дозі (ГДК), так само є безпечною за необмеженого водокористування всіма учасниками водогосподарського комплексу та не створює загрози для гідробіонтів, як і за повної її відсутності.

Деякі фахівці вважають, що збільшення значень ГДК забруднюючих речовин у стічних водах гарантує досягнення їхнього безпечного вмісту у водоймах [1]. Дійсно, практика безпечної утилізації господарсько-побутових стічних вод населених пунктів шляхом використання сучасних технологій нейтралізації забруднень, інтенсифікації механічної та біологічної очистки, регенерації активного мулу та використання систем примусової аерації [1; 2] свідчить про можливість зменшення інтенсивності таких небажаних процесів, як евтрофікація води, деградація екосистем, зменшення біорізноманіття, кисневе голодування живих організмів тощо. Але і гнучкі технологічні схеми з нейтралізації і знешкодження забруднень господарсько-побутових стічних вод не сприяють дотриманню безпечного стану річки, якщо на рівні фону вона вже є забрудненою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На думку авторів [1; 6], тенденція до формування більш жорстких нормативів по вмісту забруднюючих речо-

вин у господарсько-побутових стічних водах проблемою якості води малих річок в умовах підвищеного гідрохімічного фону та малих витрат води не вирішує. Про це свідчить аналіз загальноприйнятого методу прогнозування вмісту забруднюючих речовин у річковій воді – моделі Фролова-Родзиллера [5].

Модель Фролова-Родзиллера описує зміну концентрації забруднюючої речовини, деякої характеристики якості (стану) води, у найзабрудненішій частині ділянки річки, куди безпосередньо скидаються стічні води. Далі за течією річки вміст забруднюючої речовини зменшується шляхом розбавлення все більшою частиною водного потоку. З аналізу розрахункової залежності Фролова-Родзиллера можна зробити висновок, що основною величиною, яка впливає на вміст забруднюючої речовини у річці після випуску стічних вод, є співвідношення витрат стічних вод до витрати річки. Аналізуючи модель Фролова-Родзиллера, можна стверджувати, що обмеженням на безпечну утилізацію господарсько-побутових стічних вод у річках є не стільки склад очищених стічних вод, скільки якість водного об'єкта – фоновий стан річки, яка є приймачем стічних вод, її гідрологічні та гідрохімічні характеристики, гідролого-морфологічні параметри тощо, які формують її самоочисну здатність. Водночас зростання вимог до вмісту забруднюючих компонентів у природних водотоках призводить до більш жорстких умов відведення стічних вод лише в деяких випадках [6]: для забруднюючих речовин, фоновий вміст яких набагато нижчий від допустимого; за високої кратності розбавлення стічних вод. У результаті на практиці під час утилізації стічних вод може виникати вимога щодо їхнього скиду з вмістом забруднюючих речовин, який нижчий від фонового. Тобто виникає завдання розбавити «чистими» стічними водами забруднену річку, що є абсурдом, оскільки каналізаційні очисні споруди для цього не призначені.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Мала річка в умовах підвищеного гідрохімічного фону та малих витрат води, як приймач забруднених господарсько-побутових стічних вод населених пунктів, не витримує додаткове антропогенне навантаження, тривалість процесу самоочистки та довжина ділянки самої річки для більш ефективного розбавлення стоків зростають. В умовах низької самоочисної здатності малих річок не обійтись і без втручання людини шляхом реалізації різних меліоративних заходів. Під час врахування здатності річки знешкоджувати забруднення стічних вод ефективна експлуатація каналізаційних споруд теж може виступати одним із заходів покращення її стану.

Парадокс, але стічні води, що становлять загрозу для однієї річки, для іншої можуть виступати як «меліоративний» захід. Основна мета такої «меліоративної» полягає у глибокому аналізі фонового стану ділянок річки, де відбувається розбавлення стічних

вод, динаміки природних процесів, які сприяють самоочисним механізмам [1]. Знаючи самоочисну здатність річки, ми можемо адаптувати склад стічних вод, режим їхньої утилізації і, відповідно, не лише зберегти фоновий стан річки, але і покращити по деяких показниках. Ця ідея була використана під час формування режимів експлуатації очисних споруд населених пунктів Чернігівської, Сумської, Львівської, Житомирської та Хмельницької областей, частина з яких підлягала реконструкції (відновленню, «реанімації») [1], інші каналізаційні комплекси будувались у районі ділянок малих річок, які вже потерпали від залпових скидів не досить очищених стічних вод.

Новизна. На фоні аналізу самоочисної здатності малих річок Удай, Бобрик, Малечковича, Тетерів, Ставчанка, Давидівка, Ушиця та Конка, які приймають господарсько-побутові стічні води населених пунктів у районі наявних і запланованих стаціонарних водовипусків, розкривається основна ідея цього дослідження, яка полягає в тому, що надійна та ефективна експлуатація каналізаційних очисних споруд може слугувати одним із способів покращення стану малих річок в умовах обмежених властивостей до самоочистки.

Методологічне або загальнонаукове значення. Попередні результати проведених досліджень зміни стану малих річок у районі випусків очищених господарсько-побутових стічних вод населених пунктів дають змогу в перспективі під час відведення стоків максимально зберегти фоновий стан малих річок, скорочувати зони забруднення водотоків, де відбувається турбулентне перемішування стічних вод, асиміляція забруднень.

Виклад основного матеріалу. Зупинимось на характеристиці річкових басейнів, де виконувалися скиди досить очищених господарсько-побутових стічних вод населених пунктів, досліджувалися найбільш забруднені ділянки річок у районі водовипусків. Річки Удай, Бобрик, Тетерів та Конка входять до складу річкового басейну найбільшої водної артерії України – річки Дніпра, річки Малечковича, Ставчанка, Давидівка, Ушиця – до басейну Дністра. Всі річки протікають переважно в умовах рівнинного рельєфу, мають розвинену заплаву, живлення річок змішане. Кожна з річок протікає через декілька адміністративно-територіальних районів, річки мають довжину від витoku до гирла від 9 до 385 км, середня глибина річок h_{cp} становить від 0,1 до 2,5 м, швидкість течії V_{cp} –

Таблиця 1

Характеристика рівня забрудненості малих річок у районі водовипусків

Назва річки	Населений пункт	Витрати річки Q_{ϕ} , м ³ /с	Завислі речовини	БПК _{пов}	ХПК	Азот амонійний	СПАР	Фосфати	Хлориди	Нітриги	Нітраги
Удай	Варва	4,31	2,35	0,64	12	0,27	0,02	0,11	75	0,02	0,08
Бобрик	Дружба	0,06	7,00	8,46	34	0,35	0,02	0,23	21	0,07	1,27
Малечковича	Солонка	0,04	12,0	3,86	15	0,52	0,07	0,41	32	0,02	6,78
Тетерів	Чуднів	1,86	120,0	2,10	36	0,20	0,65	0,90	65	0,10	0,80
Ставчанка	Пустомити	0,001	7,00	7,68	24	0,65	0,08	0,68	56	0,09	5,47
Давидівка	Давидів	0,008	20,0	2,75	28	0,69	0,00	0,72	55	0,08	7,25
Ушиця	Ст. Ушиця	2,14	250,0	5,47	36	0,78	0,31	0,81	84	0,05	5,86
Конка	Оріхів	2,31	5,0	6,57	24	1,50	0,03	0,50	35	0,15	6,57

Таблиця 2

Характеристика господарсько-побутових стічних вод населених пунктів

Назва річки	Населений пункт	Витрати стічних вод $Q_{ст}$, м ³ /с	Завислі речовини	БПК _{пов}	ХПК	Азот амонійний	СПАР	Фосфати	Хлориди	Нітриги	Нітраги
Удай	Варва	0,006	500	350	530	30	20	10	350	3,3	45
Бобрик	Дружба	0,003	520	260	450	28	18	15	280	3,8	38
Малечковича	Солонка	0,006	325	375	700	40	13	9	120	3,3	30
Тетерів	Чуднів	0,002	320	286	650	38	16	8	100	3,3	30
Ставчанка	Пустомити	0,031	425	375	800	50	23	14	320	4,5	52
Давидівка	Давидів	0,006	510	283	600	40	12	9	120	3,5	30
Ушиця	Ст. Ушиця	0,002	220	425	600	30	18	10	140	4,5	25
Конка	Оріхів	0,023	116	270	88	49	2	19	251	0,25	2



Рис. 1. Фотофіксація ділянок малих річок у районі скидів стічних вод

0,1–1,5 м/с, ширина русла B_{cp} – 2,5–40 м, ухил – 0,1–2,5 м/км.

Однією з важливих характеристик гідрологічного режиму ділянок річок, де відбуваються асиміляція та нейтралізація забруднень стічних вод, є витрати річки 95 %-ої забезпеченості Q_{ϕ} , м³/с. Так, серед розглянутих річок найбільш повноводними є Конка, Тетерів та Ушиця із витратами до 4,3 м³/с, маловодними – річки Удай, Бобрик, Малечковича, Давидівка та Ставчанка з витратами до 0,008 м³/с. Для більшості водовипусків витрати стічних вод Q_{cr} , м³/с, більші

від витрат води у річках. Зокрема, для р. Ставчанка витрати стоків від м. Пустомити в районі водовипуску були більші за її витрату у 9,7 разів.

Під час реконструкції, технічного переоснащення та нового будівництва каналізаційних очисних споруд виконувались детальні лабораторні дослідження стану води по всій ділянці водотоку, починаючи від берегового водовипуску та закінчуючи контрольним створом. У табл. 1 наведено середньорічні дані по фоновому вмісту основних забруднюючих компонентів у річковій воді.

У процесі формування екологічно безпечних режимів експлуатації каналізаційних очисних споруд детальному дослідженню піддавались і господарсько-побутові стічні води від населених пунктів у період залпового накопичення, мінімальних витрат залежно від пори доби. У табл. 2 наведено дані по вмісту основних забруднюючих компонентів у стічних водах населених пунктів.

З погляду збереження нормального стану малих річок, які потерпають від скидів господарсько-побутових стічних вод населених пунктів, практичний інтерес становить саме зона забруднення річки від місця скиду (рис. 1).

Скиди стічних вод створюють велику неоднорідність якості води. Утворюються зони забруднення, де порушуються природні гідрохімічні та біологічні процеси, а концентрація забруднюючих речовин може бути вищою від допустимої норми [3–5]. Оскільки одні і ті ж водні об'єкти слугують для водокористування і приймають господарсько-побутові стічні води, то під час розташування нових та експлуатації наявних каналізаційних споруд необхідно чітко встановлювати масштаби поширення забруднюючих речовин. Чим меншою є зона забруднення річки, тим ефективнішою вважається робота каналізаційних споруд.

Завдання «меліорації» малих річок під час відведення стічних вод на початковому етапі полягала у пришвидшенні процесу їхнього перемішування зрічковим потоком для того, щоб уникнути стійких зон забруднення в районі скидів (рис. 1). Частіше такі зони спостерігаються в районі берегових водовипусків [1].

На процес перемішування стічних вод впливав також і незадовільний стан русла в районі скидів, його захаращеність, занесеність наносами та вищою водною рослинністю (рис. 1). Тому на практиці експлуатації каналізаційних споруд у кожному конкретному випадку підбирали таку конструкцію водовипусків, що сприяла збільшенню початкового розбавлення стічних вод. У тих випадках, де наявні берегові водовипуски сприяли меншій кратності розбавлення, приймалось рішення щодо їхньої заміни на руслові розсіюючі водовипуски.

Кратність початкового розбавлення стічних вод n_n під час використання берегових водовипусків встановлювалась за залежністю [5]:

$$n_n = \frac{0,248}{1-m} \cdot d^2 \left(\sqrt{m^2 + 8,1 \cdot \frac{1-m}{d^2}} - m \right) f, \quad (1)$$

де m – співвідношення швидкості течії річки до швидкісного напору стічних вод, м/с; d – відносний діаметр струменя стічних вод, м; f – коефіцієнт стискання струменя стічних вод; для берегових водовипусків приймається $f=1$.

Відносний діаметр струменя стічних вод розраховували за залежністю:

$$d = \sqrt{\frac{7,465}{\Delta V_{cr} \cdot [\Delta V_{cr} (1-m) + 1,92 \cdot m]}}, \quad (2)$$

$$\Delta V_{cr} = \frac{0,15}{V_{cr} - V_{cp}}, \quad (3)$$

де V_{cr} та V_{cp} – середня швидкість струменя стічних вод і течії річки, м/с.

Результати прогнозування початкового розбавлення стічних вод у районі малих річок під час використання берегових водовипусків наведено в табл. 3.

Під час розрахунків кратності початкового розбавлення стічних вод зі скидом через затоплений русловий розсіюючий водовипуск відносний діаметр струменя стічних вод d , м, визначався як співвідношення відстані між оголовками водовипуску l_1 , м, до діаметру розсіюючої труби d_0 , м. Для всіх водовипусків відстань між оголовками приймалась не менше $l_1 = 0,5$ м, діаметр розсіюючих труб незалежно від витрат стічних вод становив $d_0 = 0,15$ м. З метою більш ефективного перемішування стічних вод створювалися всі передумови для збільшення швидкості їхнього випуску. Попереднє накопичення очищених стічних вод у закритих резервуарах дало змогу регулювати швидкість потоку стічних вод у річку.

Кратність початкового розбавлення стічних вод n_n у районі руслових водовипусків визначалась за залежністю (1), при цьому коефіцієнт стискання струменя стічних вод f із оголовків розраховувався за іншою залежністю [4]:

Таблиця 3

Початкове розбавлення стічних вод під час берегових водовипусків

Назва річки	Швидкість стічних вод V_{cr} , м/с	Швидкість течії річки V_{cp} , м/с	ΔV_{cr} , м/с	Відносний діаметр струменя d , м	Співвідношення швидкісних напорів m	Кратність початкового розбавлення n_n
Удай	0,05	0,21	-0,94	0,82	4,20	0,14
Бобрик	0,08	0,18	-1,50	1,10	2,25	0,34
Малечковича	0,04	0,12	-1,88	0,89	3,00	0,23
Тетерів	0,16	0,08	1,88	1,98	0,50	0,50
Ставчанка	0,08	0,25	-0,88	0,97	3,13	0,26
Давидівка	0,13	0,10	5,00	1,68	0,77	1,06
Ушиця	0,05	1,52	-0,10	0,35	30,40	0,008
Конка	0,17	0,46	-0,52	1,11	2,71	0,68

$$f = 1,825 \cdot \frac{h}{d} - 0,781 \cdot \left(\frac{h}{d}\right)^2 - 0,0038, \quad (4)$$

де h – середня глибина річки в районі водовипуску стічних вод, м.

Результати прогнозування початкового розбавлення стічних вод у районі малих річок під час використання руслових водовипусків наведено в табл. 4.

Результати експлуатації комплексів каналізаційних очисних споруд населених пунктів на досліджуваних річках підтвердили ефект початкового розбавлення стічних вод завдяки пошуку оптимальної величини відстані між оголовками розсіюючої труби l_1 та її діаметра d_0 . Ефективне співвідношення між швидкістю течії річки та випуском стічних вод становило не менше $V_{ct} \geq 4V_{cp}$.

Отже, на практиці експлуатації наявних каналізаційних очисних споруд у населених пунктах Варва, Чуднів, Пустомити та Стара Ушиця було прийнято рішення відмовитися від берегових водовипусків на користь руслових.

Задача «меліорації» малих річок під час відведення стічних вод також полягала у збільшенні ефекту їхнього основного розбавлення [3–5]. Основне розбавлення стічних вод реалізується завдяки турбулентній властивості водного потоку. Якщо у річку поступає певна витрата стічних вод, то далі вона буде змішуватися з річковою водою, причому вплинути на цей процес, як зазначають спеціалісти [3–5], практично неможливо. Основне розбавлення стічних вод у річках зумовлюється перш за все тим, що воно не залежить від участі людини. Але інколи самоочисної здатності річки для нейтралізації привнесених забруднень може бути не досить. Тому на практиці експлуатації каналізаційних очисних споруд, окрім досягнення мінімального вмісту забруднюючих компонентів у стоках, можна збільшити ефект їх турбулентного перемішування у річці.

Для малих річок ефект турбулентного перемішування рекомендується визначати через коефіцієнт турбулентної дифузії D , м²/с, за А.В. Караушевим [4]:

$$D = \frac{g \cdot V_{cp} \cdot h_{cp}}{37 \cdot n_{ш} \cdot S_h^2}, S_h = \frac{R^y}{n_{ш}}, \quad (5)$$

$$y = 2,5 \cdot \sqrt{n_{ш}} - 0,13 - 0,75 \cdot \sqrt{R} \cdot (\sqrt{n_{ш}} - 0,1), \quad (6)$$

де g – прискорення вільного падіння, м/с²; $n_{ш}$ – коефіцієнт шорсткості русла; S_h – коефіцієнт Шезі, м^{0,5}/с; R – гідравлічний радіус, для спрощення розрахунків практично дорівнює середній глибині водного потоку h_{cp} , $R \approx h_{cp}$, м.

Дійсно, на практиці складно збільшити ефект турбулентного перемішування стічних вод без втручання в гідрологічні процеси малої річки. Але більшість малих річок у районі скидів господарсько-побутових стічних вод, як показує практика, має низьку самоочисну здатність саме через незадовільний гідрологічний і санітарний стан [1; 3]. Розчищення русла річки на ділянці водотоку, де відбувається турбулентне перемішування стічних вод, від зайвих наносів, вищої водної рослинності, гілок дерев сприяє збільшенню середньої глибини h_{cp} , м, та швидкості течії річки V_{cp} , м/с, зростають її витрати $Q_{зм}$, м³/с, які впливають на процес безпосереднього розбавлення стічних вод [4; 5]:

$$n_0 = \frac{Q_{ct} + Q_{зм}}{Q_{ct}}, Q_{зм} = \gamma \cdot Q_{\phi}, \quad (7)$$

$$\gamma = \frac{1 - \beta}{1 + \frac{Q_{\phi}}{Q_{ct}} \cdot \beta}, \beta = \exp^{-\alpha \cdot \sqrt[3]{L}}, \alpha = \xi \cdot \varphi \cdot \sqrt{\frac{D}{Q_{ct}}}, \quad (8)$$

де n_0 – кратність основного розбавлення стічних вод; γ – коефіцієнт у діапазоні величин від 0 до 1; β та α – гідрологічні коефіцієнти, що залежать від особливостей водного потоку; L – відстань від місця випуску стічних вод до контрольного створу, приймається $L = 500$ м; ξ – коефіцієнт, що характеризує тип водовипуску стічних вод, $\xi = 1,5$; φ – коефіцієнт звивистості річки.

У табл. 5 наведено результати збільшення кратності основного розбавлення стічних вод на малих річках шляхом видалення річкових наносів.

Слід зазначити, що до днопоглиблюваних робіт, збільшення пропускної здатності таких річок, як

Таблиця 4

Початкове розбавлення стічних вод під час руслових водовипусків

Назва річки	Швидкість стічних вод V_{ct} , м/с	Швидкість течії річки V_{cp} , м/с	Відносний діаметр струм. d , м	Середня глибина h , м	Коефіцієнт стискання f	Співвідношення швидкісних напорів m	Кратність початкового розбавлення $n_{ш}$
Удай	0,84	0,21	3,33	0,42	0,41	0,25	9,01
Бобрік	0,72	0,18	3,33	0,65	0,59	0,25	8,99
Малечковича	0,48	0,12	3,33	0,25	0,25	0,25	9,03
Тетерів	0,32	0,08	3,33	0,56	0,52	0,25	9,00
Ставчанка	1,00	0,25	3,33	0,15	0,15	0,25	9,03
Давидівка	0,40	0,10	3,33	0,18	0,18	0,25	9,03
Ушиця	6,08	1,52	3,33	0,36	0,35	0,25	9,02
Конка	1,84	0,46	3,33	1,28	0,94	0,25	8,91

Таблиця 5

Основне розбавлення стічних вод шляхом днопоглиблення річок

Назва річки	Удай	Бобрик	Малечковича	Тетерів	Ставчанка	Давидівка	Ушця	Конка
Параметр								
До днопоглиблених робіт								
Глибина h_{cp} , м/с	0,42	0,65	0,25	0,56	0,15	0,18	0,36	1,28
Швидкість течії V_{cp} , м/с	0,21	0,18	0,12	0,08	0,25	0,10	0,52	0,46
Шорсткість русла $n_{ш}$	0,65	0,86	0,55	0,73	0,62	0,85	0,53	0,67
Коефіцієнт γ	1,59	2,11	1,29	1,82	1,35	1,77	1,32	1,98
Коефіцієнт Шезі S_h , м ^{0,5} /с	0,39	0,47	0,30	0,48	0,12	0,06	0,49	2,43
Турбулентність D , м ² /с	0,05	0,04	0,02	0,02	0,06	0,05	0,10	0,05
Витрата стоків $Q_{ст}$, м ³ /с	0,006	0,003	0,006	0,002	0,031	0,006	0,002	0,023
Витрата річки $Q_{ф}$, м ³ /с	4,31	0,06	0,04	1,86	0,001	0,008	2,14	2,31
Коефіцієнт α	2,09	2,68	1,50	2,19	1,09	2,16	5,18	1,08
Коефіцієнт β	6,36E-08	5,71E-10	6,93E-06	2,85E-08	1,82E-04	3,52E-08	1,48E-18	1,88E-04
Коефіцієнт γ	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98
Витрати річки $Q_{зм}$, м ³ /с	4,31	0,06	0,04	1,86	0,00	0,01	2,14	2,27
Кратність розбавлення n_0	719	21	8	931	1	2	1071	100
Після днопоглиблених робіт								
Глибина h_{cp} , м/с	0,42	1,25	0,67	1,34	0,69	0,78	0,36	1,56
Швидкість течії V_{cp} , м/с	0,21	0,67	0,76	0,59	0,63	0,53	0,52	1,02
Шорсткість русла $n_{ш}$	0,65	0,86	0,55	0,73	0,62	0,85	0,53	0,67
Коефіцієнт γ	1,59	2,36	1,50	2,13	1,66	2,15	1,32	2,06
Коефіцієнт Шезі S_h , м ^{0,5} /с	0,39	1,97	1,00	2,55	0,87	0,69	0,49	3,74
Турбулентність D , м ² /с	0,05	0,07	0,12	0,06	0,11	0,09	0,10	0,08
Витрата стоків $Q_{ст}$, м ³ /с	0,006	0,003	0,006	0,002	0,031	0,006	0,002	0,023
Витрата річки $Q_{ф}$, м ³ /с	4,31	5,02	1,52	7,11	1,31	1,03	3,38	11,1
Коефіцієнт α	2,09	3,51	3,40	3,98	1,39	2,96	5,18	1,44
Коефіцієнт β	6,36E-08	8,49E-13	2,01E-12	2,03E-14	1,62E-05	6,35E-11	1,48E-18	1,14E-05
Коефіцієнт γ	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99
Витрати річки $Q_{зм}$, м ³ /с	4,31	5,02	1,52	7,11	1,31	1,03	3,38	11,04
Кратність розбавлення n_0	719	1674	254	3556	43	173	1691	481

Таблиця 6

Зведені результати з покращення якості води у малих річках у межах меліоративних заходів під час утилізації господарсько-побутових стічних вод населених пунктів Дружба, Солонка, Пустомити та Давидів

Співвідношення витрат річки $Q_{ф}$ до витрат стічних вод $Q_{ст}$	Завислі речовини	БПК _{пов}	ХПК	Азот амонійний	СПАР	Фосфати	Хлориди	Нітриги	Нітрати
До меліорації р. Бобрик – 20	6,12	9,10	40	0,57	0,03	0,69	60	0,10	5,29
Після меліорації р. Бобрик – 1673	5,00	6,54	21	0,25	0,01	0,16	16	0,06	1,04
До меліорації р. Малечковича – 7	12,41	5,24	23	0,43	0,03	0,28	79	0,05	4,73
Після меліорації р. Малечков. – 253	8,00	1,12	8	0,31	0,01	0,21	30	0,01	4,45
До меліорації р. Ставчанка – 0,03	37,77	35,8	131	3,00	0,00	8,80	329	0,01	0,00
Після меліорації р. Ставчанка – 42	5,03	4,48	14	0,65	0,00	0,69	56	0,009	0,00
До меліорації р. Давидівка – 1,3	16,58	4,47	28	0,53	0,00	0,46	85	0,08	5,25
Після меліорації р. Давидівка – 172	12,00	1,75	24	0,46	0,00	0,34	34	0,03	5,17

Бобрик, Малечковича, Ставчанка та Давидівка з витратами не більше 0,008 м³/с, їхня здатність до самоочистки була мінімальною, що сприяло перевищенню норми вмісту забруднюючих речовин у контрольному створі (на відстані 500 м) навіть під час відведення досить очищених і незаражених господарсько-побутових стічних вод. Після розчищення русла річок у районі зони забруднення ефект основного розбавлення зріс практично у 80 разів на р. Бобрик, у 32 рази – на р. Малечковича, у 43 рази – на р. Ставчанка та у 87 разів – на р. Давидівка. Такий ефект сприяв не лише зменшенню концентрацій забруднюючих речовин у контрольному створі (на відстані 500 м), але й дав змогу скоротити зону забруднення річки після скиду стічних вод шляхом зменшення відстані від руслових водовипусків до створів повного розбавлення. Прийнято, що ефект самоочистки річки від забруднень господарсько-побутових стічних вод має наступити на відстані понад 500 м від місця скиду [1–5], але для річок Бобрик і Давидівка регулярні лабораторні дослідження встановили достатній ефект нейтралізації забруднень уже на відстані до 100 м від місця скиду, а для річок Малечковича та Ставчанка – на відстані понад 200 м.

Попереднє накопичення очищених стічних вод у резервуарах перед їх відведенням дало змогу не лише збільшити ефект початкового розбавлення через руслові водовипуски, але і безпечно утилізувати на ділянках річок в умовах малих витрат і підвищеного гідрохімічного фону. Під час формування режимів експлуатації муніципальних очисних споруд у кожному конкретному випадку було розроблено так звану програму скидів досить очищених стічних вод, їхньої періодичності та витрат [1]. «Дозування» очищених стічних вод дало змогу зберегти фоновий стан річки, а для деяких показників якості води сприяло зниженню їхнього значення порівняно з фоновією величиною в умовах наявного антропогенного навантаження, незадовільного гідрологічного та санітарного стану річки.

У табл. 6 наведено результати покращення фоновіого стану річок Бобрик, Малечковича, Ставчанка та Давидівка за умови реалізації перерахованих вище меліоративних заходів та обґрунтованого підходу до режиму утилізації стоків.

Головні висновки. Зменшення витрат досить очищених господарсько-побутових стічних вод із відповідним збільшенням пропускної здатності русла малих річок, підбору раціональної конструкції водовипусків у межах меліоративних заходів, спрямованих на підвищення ефекту початкового та основного розбавлення стоків, дало змогу досягнути покращення стану річкової води шляхом зменшення величини БПК_{пов} в р. Бобрик у 1,5 разів, р. Малечковича – у 6 разів, р. Ставчанка – у 8 разів, р. Давидівка – у 3 рази, також зменшилась величина азоту амонійного для р. Бобрик у 3 рази, р. Малечковича – у 2 рази, р. Ставчанка – у 7 разів, р. Давидівка – у 1,5 рази. Такий меліоративний ефект сприяв збільшенню вмісту розчиненого кисню на ділянці водотоку, де відбувалось турбулентне перемішування стічних вод, а через підвищення пропускної здатності річок відстань від місця скиду до створу повного розбавлення стічних вод значно скоротилась. Помітно зменшились масштаби евтрофікації води на річках, чому сприяло також зменшення концентрації фосфатів для р. Бобрик у 4 рази, для р. Малечковича – у 2 рази, р. Ставчанка – у 13 разів, р. Давидівка – у 0,7 разів. Меліоративний ефект сприяв також і зменшенню завислих речовин у р. Бобрик, Малечковича та Давидівка. Але найкращий ефект був характерний саме для р. Ставчанка, де витрати стічних вод перевищували її витрату у 9,7 разів.

Перспективи використання результатів дослідження. Для збереження нормального стану малих річок, окрім впровадження технологій інтенсифікації процесів очищення та незараження стічних вод, варто звертати увагу на фоновий стан річок, їхню здатність до розбавлення стічних вод. Якщо на практиці експлуатації каналізаційних споруд маємо значні витрати стічних вод порівняно з річкою, або склад стічних вод не відповідає правилам водовідведення, чи фоновий стан річки до водовідведення незадовільний, тоді шляхом системного пошуку безпечного співвідношення стічних вод до природного потоку, реалізації заходів із підвищення кратності розбавлення стоків і покращення гідрологічного та санітарного стану річки виникає можливість регулювати антропогенне навантаження на річку з урахуванням несанкціонованих джерел забруднення.

Література

1. Атаєв С.В. Поліпшення стану річок шляхом розбавлення із попередньо очищеними господарсько-побутовими стічними водами. *III-й Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю (Екологія/Ecology-2019)* : зб. наук. пр. ВНТУ, м. Вінниця, 25–27 вересня 2019 р. Вінниця, 2019. С. 65. URL: <http://ineek.vntu.edu.ua> (дата звернення: 07.01.2020).
2. Атаєв С.В. Проблеми надійної та безпечної експлуатації систем водовідведення населених пунктів. *Науково-технічний збірник «Комунальне господарство міст»*. Серія: Технічні науки та архітектура. 2013. Вип. 110. С. 77–84.
3. Гагарина О.В., Куртеева А.Г. Исследование разбавления сточных вод в городских реках, попадающих под воздействие организованных источников загрязнения в условиях повышенного гидрохимического фона (на примере реки Карлутка в пределах города Ижевска). *Вестник Удмуртского университета*. 2017. Т. 27. Вып. № 4. С. 427–436.
4. Караушев А.В. Методические основы оценки и регламентирования антропогенного влияния на качество поверхностных вод. Ленинград : Гидрометеиздат, 1987. 286 с.
5. Родзиллер И.Д. Прогноз качества воды водоемов – приемников сточных вод. Москва : Стройиздат, 1984. 263 с.
6. Лернер А.Д., Ингачов А.Д. О нормировании сбросов сточных вод, ПДК и экологических платежах. *Водоснабжение и санитарная техника*. 2011. № 1. С. 40–44.