

ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ РОЗБАВЛЕННЯ СТІЧНИХ ВОД НА ПРИКЛАДІ Р. ІНГУЛЕЦЬ

Шахман І.О.¹, Бистрянцева А.М.²

¹ ДВНЗ «Херсонський державний аграрний університет»

вул. Стрітенська 23, 73006, м. Херсон

²Херсонський державний університет

вул. Університетська, 27, 73000, м. Херсон

shakhman.i.a@gmail.com, anbys@ukr.net

Якість природних вод представляє собою сукупність фізичних, хімічних і біологічних показників, які визначають ступінь придатності води для конкретних видів водокористування і відповідають вимогам охорони навколишнього середовища. Екологічна оцінка стану поверхневих водних ресурсів проводиться за гідрологічними, гідрохімічним, гідробіологічними показниками і передбачає встановлення можливості їх використання різними галузями економіки. Водокористувачі зазвичай оцінку якості води зводять до аналізу відповідності фактичних значень показників стану води гранично допустимим. Скиди стічних вод у водні об'єкти створюють велику неоднорідність якості води в них. Утворюються зони забруднення, де порушуються природні гідрохімічні і біологічні процеси, а концентрація забруднюючих компонентів виявляється вище встановлених норм по санітарним, рибогосподарським або іншими показниками. Ґрунти в зоні забруднення зазвичай також виявляються забрудненими. Оскільки одні й ті ж водні об'єкти служать для водокористування і є приймачами стічних вод, то під час проєктування скидів і водопостачання необхідно надійно визначати зони поширення забруднених вод, щоб забезпечити необхідну якість води в місцях водокористування та не допустити поширення забруднення в межах заповідних територій. У статті продемонстровано на прикладі р. Інгулець практичну реалізацію методики розрахунку розбавлення стічних вод гірничорудних підприємств Кривбасу. Виконана порівняльна оцінка якості води в пониззі р. Інгулець у вегетаційний період за нормативами якості поверхневих вод, призначених для різних водокористувачів. Акцентовано увагу на необхідності використання показників якості води, що дають як просторові, так і часові узагальнення і дозволяють враховувати мінливість забрудненості водних мас та визначити здатність водних ресурсів до самовідновлення. *Ключові слова:* якість води, розбавлення стічних вод, промивка русла, поливна вода, зрошення.

The practical implementation of the wastewater dilution calculating methodology on the example of the Ingulets River. Shakhman I., Bystrantseva A.

The quality of natural water is a combination of physical, chemical and biological indicators that determine the degree of suitability of water for specific types of water use and meet the requirements of environmental protection. Environmental assessment of surface water resources is carried out by hydrological, hydrochemical, hydrobiological indicators and provides the possibility of their use in different sectors of the economy. Water users, as a rule, reduce the assessment of water quality to an analysis of the compliance of actual values of water condition indicators with the maximum permissible. Discharges of wastewater into water bodies create a high heterogeneity of water quality in them. Pollution zones are formed where natural hydrochemical and biological processes are violated, and the concentration of polluting components is higher than the established standards for sanitary, fisheries or other indicators. Soils in the contaminated area usually also become contaminated. Since the same water bodies serve for water use and are waste water receivers, when designing discharges and water supply, it is necessary to reliably establish the distribution zones of contaminated water in order to ensure the necessary quality of water in places of water use and to prevent the spread of pollution within protected areas. The article demonstrates the practical implementation of the wastewater dilution calculating methodology from the mining enterprises in Kryvbas on the example of the Ingulets River. A comparative assessment of the quality of water in the Lower Section of the Ingulets River during the growing season was carried out according to the quality standards of surface waters intended for various water users. Attention is focused on the need to use indicators of water quality, giving both spatial and temporal generalizations and allowing to take into account the variability of water pollution and the ability of water resources to self-repair. *Key words:* water quality, wastewater dilution, channel flushing, irrigation water, irrigation.

Постановка проблеми. Основною причиною деградації поверхневих водних об'єктів є небезпечне антропогенне навантаження і, як наслідок, погіршення кількісних і якісних показників водних ресурсів. Яскравим прикладом залишається р. Інгулець з незадовільною якістю річкової води та несприятливим еколого-меліоративним станом зрошувальних масивів басейну водотоку. Необхідність раціонального використання і охорони водних ресурсів потребують від гідроекології розробки нових та оцінки сучасних методів, які використовуються

для визначення якості води відповідно до гідрологічних, гідродинамічних та гідрохімічних умов.

Актуальність дослідження. Під час планування будь-яких водогосподарських заходів у басейні р. Інгулець врахування якості води має зазвичай не менше значення, ніж кількісна оцінка водних ресурсів об'єкту дослідження. Це зумовлено тим, що завдяки розвитку промисловості (скиду високо-мінералізованих забруднених промислових стоків гірничорудних підприємств Кривбасу) відбуваються зміни складу водних мас річки [1; 2]. Нижче ж за

течією Інгулецька зрошувальна система (ІЗС) забирає воду на зрошення. У разі багаторічного використання (більше 50 років) поливної води незадовільної якості на Інгулецькому зрошуваному масиві відбуваються погіршення меліоративного стану зрошуваних земель, вторинне засолення та осолонцювання, деградація ґрунтів [3; 4]. Тому необхідний аналіз якості річкової води за показниками, які дають можливість оцінки відновлення водних ресурсів, просторового і часового узагальнення, врахування мінливості забруднення водних мас, визначення допустимого навантаження водного об'єкту, встановлення зони розповсюдження забруднених вод для забезпечення відповідної якості води в місцях водокористування тощо.

Зв'язок авторського доробку з важливими науковими та практичними завданнями. З 2011 року Державним агентством водних ресурсів України та Управлінням каналів ІЗС було впроваджено новий варіант формування якості води в Інгулецькому магістральному каналі. Міжвідомча комісія Держводагенства України щорічно затверджує Регламент промивки русла і екологічного оздоровлення р. Інгулець, поліпшення якості води у Карачунівському водосховищі і на водозаборі Інгулецької зрошувальної системи [5; 6]. На основі аналізу гідрометеорологічної обстановки в басейні р. Інгулець, інформації про якість води в Карачунівському водосховищі, в яке скидаються стічні води підприємств Кривбасу і з якого вода надходить до р. Інгулець, комісія приймає Регламент, що визначає компенсаційний об'єм води у водосховищі для розбавлення високомінералізованих вод і поліпшення якості води за рахунок перекидання стоку каналом Дніпро-Інгулець.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Процесами антропогенного перетворення водного режиму р. Інгулець тривалий час займалися науковці Київського Національного університету імені Тараса Шевченка – Л.М. Горев, В.І. Пелешенко, В.К. Хільчевський, І.М. Ромась, М.І. Ромась, Р.В. Руденко, В.М. Медведь, Р.Л. Кравчинський та інші. Вченими розглянуті закономірності просторового і часового розподілу гідролого-гідрохі-

мічних характеристик мінімального стоку, виявлені загальні тенденції хімічного складу річкових вод та певні відмінності, які зумовлені взаємодією комплексу географічних, гідроекологічних та антропогенних чинників [7].

Роль техногенного впливу на гідрохімічний режим р. Інгулець за період 1978–2010 рр. детально досліджено Н.П. Шерстюк [8]. Науковець характеризує особливості хімічного складу води у водоймах хвостосховищ, ставках-накопичувачах шахтних вод, ставках Кривбасу та річках Саксагань і Інгулець, визначає особливості гідрохімічних процесів у техногенних та природних водних об'єктах.

Нами також неодноразово акцентувалась увага на необхідності регулярної оцінки якості поверхневих вод р. Інгулець, екологічного стану водного об'єкту, визначення можливості відновлення водних ресурсів та використання будь-якими галузями економіки [2; 9; 10]. Акцентувалась увага на використанні комплексних методик оцінки стану водних об'єктів в умовах антропогенного навантаження [11; 12].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Виконана порівняльна оцінка якості води в пониззі р. Інгулець у вегетаційний період за нормативами якості поверхневих вод, призначених для різних водокористувачів.

Новизна. Продемонстровано практичну реалізацію методу розрахунку розбавлення стічних вод для забезпечення якості води для різних водокористувачів у пониззі р. Інгулець.

Методологічне або загальнонаукове значення. Акцентована увага науковців гідроекологічної спрямованості на необхідності системного аналізу, обробки і оцінки екологічної інформації для широкого кола водокористувачів.

Виклад основного матеріалу. В умовах глобального потепління для території басейну р. Інгулець з відділним водним балансом рівень забезпеченості водними ресурсами знижується. Суттєво підсилює дефіцит поверхневих прісних ресурсів виробнича діяльність промислового та господарського комплексу Криворізького гірничодобувного регіону. Можливість використання підземних вод

Таблиця 1

Динаміка обсягів подачі дніпровської води каналом Дніпро-Інгулець та скиду надлишкових зворотних вод з Карачунівського водосховища [5; 6]

Рік	Обсяг подачі, млн м ³	Міжвегетаційний період скиду (листопад – грудень)	Обсяг скиду, млн м ³
2011	121,80	2010–2011	11,100
2012	122,60	2011–2012	10,874
2013	125,20	2012–2013	9,950
2014	128,40	2013–2014	9,420
2015	135,00	2014–2015	10,188
2016	122,20	2015–2016	9,836
2017	121,04	2016–2017	9,596
2018	105,50	2017–2018	4,730

у зворотних циклах гірничорудних підприємств Кривбасу обмежена (28–30 млн. м³ на рік), тому 11–12 млн. м³ надлишків зворотних вод щорічно акумулюється і тимчасово утримуються в ставках-накопичувачах шахтних вод [6]. З 2011 року щорічно реалізується нова схема екологічного оздоровлення басейну р. Інгулець за рахунок подачі дніпровської води каналом Дніпро-Інгулець та встановлення попусків води з Карачунівського водосховища після завершення скидів надлишків зворотних вод гірничорудними підприємствами Кривбасу. Діючі підприємства щорічно відкачують на поверхню до 40 млн м³ шахтних і кар'єрних вод, серед яких 16–17 млн м³ високомінералізованих. Дозовано

(Регламентом) скидають надлишкові зворотні води в р. Інгулець (таблиця 1).

Основним механізмом зниження концентрації забруднюючих речовин під час скидання зворотних вод підприємств Кривбаса в р. Інгулець є розбавлення, яке викликається перемішуванням зворотних вод з водним середовищем річки.

Інтенсивність процесу розбавлення (n) кількісно визначається кратністю розбавлення [6]:

$$n = \frac{Q + q_{cm}}{q_{cm}}, \quad (1)$$

або відношенням надлишкових концентрацій забруднюючих речовин (загальне розбавлення на ділянці річки):

Таблиця 2

Водогосподарська обстановка в басейні р. Інгулець у 2018 році [15]

Місце відбору проб води	Дата	Об'єм поданої води каналом Дніпро – Інгулець	Скид з Карачунівського водосховища, тис. м ³	Хлориди (ГДК=350 мг/дм ³)
				фактично, мг/дм ³
в/п Андріївка	15.02	–	19893,6	3050
Снігурівська ГНС				1375
в/п Андріївка	15.03	–	–	660
Снігурівська ГНС				1850
в/п Андріївка	13.04	–	–	610
Снігурівська ГНС				1080
в/п Андріївка	18.05	32175,0	56772,0	445
Снігурівська ГНС				330
в/п Андріївка	15.06	58536,0	83350,8	370
Снігурівська ГНС				375
в/п Андріївка	27.07	98110,0	119476,8	425
Снігурівська ГНС				395
в/п Андріївка	16.08	–	–	450
Снігурівська ГНС				380
в/п Андріївка	20.09	–	–	1790
Снігурівська ГНС				470
в/п Андріївка	05.10	–	–	2010
Снігурівська ГНС				490

Таблиця 3

Максимальні показники вмісту забруднюючих речовин в р. Інгулець – ГНС Снігурівська за вегетаційний період

№ п/п	Забруднююча речовина	ГДК, мг/дм ³			Фактично, мг/дм ³
		зрошення	питні потреби	рибогосподарські	
1	Азот амонійний	2,0	0,5	0,5	0,43
2	БСК ₅	10,0	<4	2,0	5,3
3	Завислі речовини	0,75+фон (30)	0,25+фон	20	29,6
4	Розчинний кисень	>4,0	>4,0	>6	6,6
5	Сульфати	500	250	100	614
6	Хлориди	350	250	300	460
7	Нітрати	45,0	50	40	2,4
8	Нітроти	3,30	0,5	0,08	7,00
9	Фосфати	3,5	3,5	3,5	0,12
10	ХСК	30,0	5	20	46,5
11	СПАР	0,5	0,5	0,1	6,8

$$n = \frac{C_{cm} - C_{\phi}}{C - C_{\phi}}, \quad (2)$$

де Q – витрата води в річці, м³/с; q_{cm} – витрата стічної (зворотної) води, м³/с; C_{cm} – концентрація забруднюючої речовини у стічній (зворотній) воді, г/м³; C_{ϕ} – фонові концентрації забруднюючої речовини у водотоці до випуску зворотних вод, г/м³; C – гранично допустима концентрація забруднюючої речовини, г/м³.

В.А. Фролов і І.Д. Родзиллер визначають кратність основного розбавлення (n_0) в водотоці в розрахунковому створі за формулою [13]:

$$n_0 = \frac{\gamma \cdot Q + q_{cm}}{q_{cm}}, \quad (3)$$

де γ – коефіцієнт змішування, що визначає, яка частина води річки бере участь у розбавленні зворотних вод; q_{cm} – максимальна витрата зворотних вод, м³/с; Q – розрахункова мінімальна витрата води в водотоці в контрольному створі, м³/с.

Розповсюдження забруднюючих речовин відбувається в напрямку переважаючих течій, в тому ж напрямку кратність розбавлення збільшується. Розв'язування задачі відносно розбавлення зворотних вод у водотоці – це визначення концентрації однієї або декількох забруднюючих речовин в будь-якій точці (контрольному створі) водного об'єкту, який перебуває під впливом зворотних вод:

$$C_{cm} \cdot q_{cm} = C_{\kappa cm} \cdot (\gamma \cdot Q + q_{cm}) - C_{\phi} \cdot \gamma \cdot Q, \quad (4)$$

де q_{cm} – витрата зворотної води, м³/с; Q – витрата води в річці, м³/с; C_{cm} – концентрація забруднюючої речовини в зворотних водах, мг/дм³; C_{ϕ} – фонові концентрації тієї ж речовини в річці вище місця скиду, мг/дм³; $C_{\kappa cm}$ – концентрація забруднюючої речовини у контрольному створі, мг/дм³; γ – коефіцієнт змішування. Концентрація забруднюючої речовини у контрольному створі буде дорівнювати:

$$C_{\kappa cm} = \frac{C_{cm} \cdot q_{cm} + C_{\phi} \cdot \gamma \cdot Q}{\gamma \cdot Q + q_{cm}}. \quad (5)$$

Розрахунки розбавлення зворотних вод на проточних ділянках р. Інгулець здійснюються за допомогою комбінованого методу О.В. Караушева і М.О. Бесценної [14] і базуються на співвідношенні іонів хлору в підвідному каналі Дніпро – Інгулець. Обсяги води розраховуються таким чином, щоб на рівні Головної насосної станції ІЗС (м. Снігурівка) змішані води Дніпра і Інгульця відповідали критеріям ДСТУ 2730:2015 «Якість природної води для зрошення. Агрономічні критерії» для поливної води І класу. Результати спостережень за якістю води в р. Інгулець у 2018 році представлені в таблиці 2.

На початок поливного періоду 2018 року площа зрошуваних земель у Миколаївській області становила 190 тис. 321,8 га, у тому числі сільськогосподарських угідь – 189 тис. 784,53 га (23 зро-

шувальні державні системи та ділянки «малого» зрошення в 19 районах). За даними МУВГ, УВГ по Миколаївській області проведення поливів сільськогосподарських культур здійснювалось на загальній площі 31 тис. 765 га (станом на 01.10.2018 року).

Для визначення якості води джерел зрошення, з яких 2018 року здійснювали полив, на хімічний аналіз було відібрано 16 проб води в 16 точках спостереження (таблиця 3).

За результатами відбору проб у межах вегетаційного періоду хімічний склад поливної води сульфатно-хлоридний, переважно І класу (придатна) та в деякі періоди спостережень II класу (обмежено придатна) для зрошення.

Наявні суттєві обмеження щодо можливості використання річкової води на питні потреби (перевищення за біологічним споживанням кисню, сульфатам, хлоридам, нітратам) та для рибогосподарського призначення (перевищення за біологічним споживанням кисню, завислими речовинами, сульфатам, хлоридам, нітратам, хімічному споживанню кисню).

Вміст токсичних солей у змішаних водах Інгулецького магістрального каналу в середньому за поливний сезон складає біля 420–490 мг/дм³ з відхиленням до 70–140 мг/дм³ як в одну, так і в іншу сторону. Тобто якість води (концентрація забруднюючих речовин) р. Інгулець нижче Карачунівського водосховища визначається об'ємом поданої дніпровської води в верхів'я Інгульця для розбавлення інгулецької води до безпечних для поливу критеріїв. Головним забруднюючим фактором залишається скид шахтних вод у верхній течії р. Інгулець з підприємств Кривбасу.

Головні висновки. Промивка р. Інгулець каналом Дніпро-Інгулець дає можливість виштовхнути з русла р. Інгулець призму високомінералізованих вод, оздоровити водні ресурси басейну річки Інгулець, покращити умови існування водних живих ресурсів, покращити якість води у Карачунівському водосховищі, зменшити затрати на доочистку питної води до нормативної якості комунальними підприємствами, покращити якість води на водозаборі Інгулецької зрошувальної системи для зрошення сільгоспугідь у Миколаївській та Херсонській областях. Але не забезпечує можливість використання річкової води всім зацікавленим у регіоні водокористувачам.

Перспективи використання результатів дослідження. Результати наукових досліджень, викладені у цій статті, можуть слугувати основою для порівняльного аналізу під час вирішення питань, пов'язаних із раціональним використанням поверхневих водних ресурсів та забезпеченням охорони довкілля. Подальші дослідження передбачають комплексну оцінку якості води за гідрохімічними показниками, яка надає можливість визначати не тільки якісний склад поверхневих вод, а й здатність водного об'єкту до саморегуляції та самовідновлення.

Література

1. Iryna Shakhman, Anastasiia Bystriantseva Environmental approach to assessment of the response of hydroecosystems to anthropogenic load. New stages of development of modern science in Ukraine and EU countries: monograph / edited by authors. 7th ed. Riga, Latvia: "Baltija Publishing". 2019. P. 281–301.
2. Shakhman I.A., Bystriantseva A.N. Assessment of Ecological State and Ecological Reliability of the Lower Section of the Ingulets River. *Hydrobiological Journal. USA*. 2017. vol. 53/issue 5. P. 103–109.
3. Козленко Є.В. Вплив умов формування води Інгулецької зрошувальної системи на агрономічні та екологічні показники якості. *Зрошуване землеробство*. 2011. Вип. 56. С. 164–171.
4. Лобода Н.С., Шахман І.О. Функції відклику водогосподарських систем Нижнього Подніпров'я на зрошення сільськогосподарських масивів водами Дніпра. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2006. Вип. 3. С. 175–181.
5. Протокол засідання Міжвідомчої комісії з питань промивки русла та екологічного оздоровлення р. Інгулець, поліпшення якості води у Карачунівському водосховищі та на водозаборі Інгулецької зрошувальної системи у 2018 році, 2018. URL: <https://www.davr.gov.ua/protokol--zasidannya-mizhvidomchoi-komisii-z-pitan-promivki-rusla-> (date of appeal, 03/18/2020).
6. Регламент скиду надлишків зворотних вод гірничорудних підприємств Кривбасу у 2017–2018 рр. / ПАТ «Укрводпроект», ДУ ІГНС. Київ, 2017. 86 с.
7. Хільчевський, В.К., Кравчинський Р.Л., Чунарьов О.В. Гідрохімічний режим та якість води Інгульця в умовах техногенезу. Київ : Ніка-Центр, 2012. 180 с.
8. Шерстюк Н.П. Вплив промивки р. Інгулець на перебіг гідрохімічних процесів та встановлення рівноваг. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2014. Т. 2 (33) 36, С. 28–37.
9. Шахман І.О. Оцінка екологічного стану та екологічної надійності пониззя річки Дніпро. *Екологічні науки*. 2019. №1(24). Т. 1. С. 117–120.
10. Шахман І.О., Лобода Н.С. Оцінка якості води у створі р. Інгулець – м. Снігурівка за гідрохімічними показниками. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2016. № 17, С. 123–136.
11. Пічура В.І., Шахман І.О., Бистрянцева А.М. Просторо-часова закономірність формування якості води в річці Дніпро. *Біоресурси і природокористування*. 2018. Том 10, № 1–2. 21 с.
12. Шахман І.О. Водні ресурси Нижнього Подніпров'я в умовах зрошувального землеробства. *Метеорологія, кліматологія та гідрологія*. 2008. № 50. С. 102–107.
13. Родзиллер І.Д. К вопросу о расчёте смешения сточных вод в реках: информ. материалы. Москва : Изд. ВНИИ ВОДГЕО, 1954. 31 с.
14. Караушев А.В. Методические основы оценки и регламентирования антропогенного влияния на качество поверхностных вод. Ленинград, 1987. 176 с.
15. Водогосподарська обстановка. Державне агентство водних ресурсів України: офіційний сайт. URL: <https://www.davr.gov.ua/vodogospodarska-obstanovka/page-10> (дата звернення: 21/04/2020).