

УДК 504.064.54

ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ВОДИ РІЧКИ КАРАСУЛАК

Лозовицький П.С.

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління,
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, 03035, Київ,
Lozovitskii@gmail.com

Проаналізовано хімічний склад й мінералізація води р. Карасулак за період 2006-2014 рр. Наведено результати екологічної оцінки якості води за критеріями забруднення компонентами сольового складу, еколого-санітарні показники та вміст специфічних речовин токсичної дії. Розраховано індекс забруднення води та визначено загальну оцінку забруднення води за множиною показників. *Ключові слова:* хімічний склад води, мінералізація, іригаційні показники оцінки води, соловий склад води.

Оценка качества воды реки Карасулак. Лозовицкий П.С. Выполнен анализ химического состава и минерализации воды р. Карасулак за период 2006-2014 гг. Приведены результаты экологической оценки качества воды по критериям загрязнения компонентами солевого состава, эколого-санитарные показатели и содержание специфических веществ токсического действия. Рассчитан индекс загрязнения воды и определена общая оценка загрязнения по совокупности показателей. *Ключевые слова:* химический состав воды, минерализация, ирригационные показатели оценки воды, солевой состав воды.

Assessment of water quality of the river Karasulak. Lozovitskii P. Comparative results of chemical composition and water salinity in Shostka town are given for the periods of 2006-2014. The article presents the results of environmental assessment of water quality on criteria of components of the salt content pollution, environmental sanitation indexes and content of specific substances toxic effects. Index of water pollution was calculated and the overall assessment of pollution was made by the whole set of indicators. *Keywords:* water chemistry, salinity, irrigation indices of water, salt composition of water.

Вступ

Карасулак – річка на крайньому заході Одеської області. Бере початок на північному сході від с. Червоноармійське Болградського району, тече на південний захід і південь, впадає в оз. Ялпуг на південному заході від с. Криничного, довжина 52 км, площа водозбору 221 км², похил 2,3‰, має 4 притоки, долина порівняно неширока, річище слабо звивисте, влітку в багатьох місцях (переважно у верхів'ї) пересихає (у 3 та 4 кварталах 2009 р.), споруджено кілька ставків. Вода використову-

ється для обводнення, водопою тварин та зрошення. Норма річного стоку малої річки Карасулак – 1,74 млн м³. Уздовж берегової смуги річки розміщено 4 населених пункти [5, 21].

Мета досліджень – вивчити хімічний склад води, мінералізацію, стан забруднення та якість води малої річки Карасулак за еколого-санітарними критеріями, специфічними речовинами токсичної дії, оцінити воду за іригаційними показниками.

Методика досліджень. За результатами хімічних аналізів води, викона-

них за методиками [2,19], складено банк даних за показниками якості: вміст головних іонів (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, CO₃²⁻, HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻), загальна мінералізація води, величина pH, вміст біогенних речовин (N-NH₄⁺, N-NO₂⁻, N-NO₃⁻), загального азоту й фосфору, мінерального фосфору (P-PO₄³⁺), зважених речовин, умісту кисню (O₂, мг/дм³), біохімічне споживання кисню за 5 діб (БСК₅), хімічне споживання кисню (ХСК), вміст важких металів (Fe³⁺, Cr³⁺, Zn²⁺, Cu²⁺, Mn²⁺, Cr⁶⁺), фенолів, нафтопродуктів (НП), синтетичних поверхнево-активних речовин (СПАР), залишків деяких пестицидів. Паралельні статистичні ряди даних хімічних аналізів мали до 20 значень за 2006-2014 рр.

Математико-статистичний аналіз зроблено на персональному комп'ютері з використанням стандартних обчислювальних програм "Excel", «Costat».

Результати досліджень і їх обговорення

Сольовий склад та мінералізація води. Хімічний склад води річки Карасулак вивчено за період 2006-2014 рр., відібрано 20 проб води. Основні статистичні характеристики кількісної мінливості варіаційних рядів свідчать про значну мінливість майже всіх компонентів хімічного складу й загальної мінералізації природної води р. Карасулак (табл.1).

Таблиця 1. Статистична характеристика хімічного складу води річки Карасулак

Інгредієнти	Уміст, мг/дм ³					Рівень надійності, 95,0 %
	Мінімальний	Максимальний	Середній	Стандартна похибка	Стандартне відхилення	
Ca ²⁺	200,0	414,0	284,73	16,69	64,64	35,80
Mg ²⁺	158,0	344,0	244,35	18,80	72,82	40,32
Na ⁺	330,0	1100,0	699,07	58,83	227,93	126,16
K ⁺	11,7	23,0	15,14	0,91	3,39	1,95
CO ₃ ²⁻	0	12	3,47	1,22	4,72	2,81
HCO ₃ ⁻	270,0	510,0	373,67	15,48	59,98	33,22
SO ₄ ²⁻	954,0	2380,0	1696,27	127,60	494,20	273,68
Cl ⁻	413,0	1203,0	742,13	53,02	205,33	113,71
Мінералізація	2361,0	5811,1	4040,21	268,47	1039,76	575,80
Відсотковий уміст інгредієнтів, мг-екв/дм ³						
Ca ²⁺	17,21	27,39	23,13	0,80	3,10	1,71
Mg ²⁺	23,93	39,02	32,18	1,27	4,94	2,73
Na ⁺	33,44	57,58	40,07	1,87	7,26	4,02
K ⁺	0,29	0,98	0,64	0,07	0,25	0,14
CO ₃ ²⁻	0	0,29	0,09	0,03	0,11	0,06
HCO ₃ ⁻	7,95	13,45	10,17	0,44	1,72	0,95
SO ₄ ²⁻	52,16	62,64	56,22	0,92	3,56	1,97
Cl ⁻	28,87	37,53	33,53	0,78	3,00	1,66

Із катіонів у воді річки частіше переважає натрій. Його концентрація коливалась від 330,0 (21.03.2007 р.) до 1100,0 (30.08.2006 р.) мг/дм³. Концен-

трацію Na^+ нижчу за ГДК для водойм рибогосподарського призначення ($\leq 120 \text{ мг/дм}^3$) і водойм господарсько-побутового призначення ($\leq 200 \text{ мг/дм}^3$) не фіксували. Отже, уміст натрію у воді р. Карасулак значно вищий, ніж у воді оз. Ялпуг і суттєво забруднює її.

Уміст магнію коливався від 158,0 (21.03.2007 р.) до 344,0 (16.02.2009 р.) мг/дм^3 . Концентрацію магнію нижчу за ГДК для водойм рибогосподарського призначення ($\leq 40 \text{ мг/дм}^3$) і меншу за ГДК для водойм господарсько-побутового призначення ($\leq 50 \text{ мг/дм}^3$) також не фіксували [8,17,18].

Кальцій змінювався від 200,0 (21.03.2007 р.) до 414,0 (16.02.2009 р.) мг/дм^3 . Усі проби води р. Карасулак перевищували ГДК для водойм рибогосподарського призначення за вмістом кальцію.

Вода річки Карасулак дуже забруднена компонентами сольового складу – сульфатами й хлоридами. Крім того, сульфати є переважаючим аніоном. Уміст SO_4^{2-} у воді річки змінювався від 954,0 (22.04.2013 р.) до 2380,0 (16.02.2009 р.) мг/дм^3 . При цьому, усі проби води мають значення SO_4^{2-} вищі за ГДК для водойм рибогосподарського призначення (100 мг/дм^3) та за ГДК для водойм господарсько-побутового призначення (500 мг/дм^3). Розрахунок відсотку головних іонів у воді оз. Катлабуг засвідчує, що переважаючим аніоном є SO_4 ($\geq 50\%$ від суми). Хлориди й гідрокарбонати не переважали в жодній з проб. Середньоарифметичний відсоток усіх головних іонів у воді річки наведено в табл. 5.

За забрудненням сульфатами вода р. Карасулак у 2006-2014 рр. належала до 7-ї категорії якості (дуже брудної) [17].

Концентрація хлоридів у воді річки за роки досліджень становила від 413,0 (21.03.2007 р.) до 1203,0 (30.08.2006 р.) мг/дм^3 . Усі проби води річки мали уміст хлоридів вищий за ГДК для водойм рибогосподарського призначення (300 мг/дм^3) та ГДК для водойм господарсько-побутового призначення (350 мг/дм^3). За середньоарифметичним умістом хлоридів вода річки Карасулак у період 2006-2014 рр. належала до 4-ї категорії якості (слабко забруднена).

Жорсткість води р. Карасулак за період спостережень змінювалась від 23,0 (21.03.2007 р.) до 49,01 (16.02.2009 р.) мг-екв/дм^3 при середньоарифметичному значенні 34,35 мг-екв/дм^3 . Отже, вода річки є дуже жорсткою для тепловодопостачання [8].

Загальна мінералізація води річки змінювалась від 2361,0 мг/дм^3 (21.03.2007 р.) до 5811,1 (30.08.2006 р., табл. 1). Це свідчить про те, що мінералізація води у річці Карасулак має значно вищу мінералізацію, ніж вода оз. Ялпуг, куди вона впадає. Середня загальна мінералізація води за період досліджень перевищує 4000 мг/дм^3 і за цим критерієм забруднення вона належить до 5 класу 7 категорії якості.

За методикою екологічної оцінки [17,18] вода р. Карасулак у 2006–2014 рр. за критерієм мінералізації належала до солонуватої β-мезогаєліної 3, а в деякі періоди й 4 категорії якості [17].

За класифікацією Альюкіна [1] вода річки у 2006-2014 рр. мала сульфатно-хлоридний натрієво-магнієво-кальцієвий склад і належала до сульфатного класу натрієвої групи другого типу, що відповідає співвідношенню катіонів: $\text{HCO}_3^- < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} < \text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$ (табл. 1).

Оцінювання якості води за еколого-санітарними показниками. Уміст зважених речовин р. Карасулак змінювався від 24 (21.03.2007 р.) до 184,0 (22.04.2014 р.) мг/дм^3 (табл. 2). За середньоарифметичним значенням умісту зважених часток ($80,36 \text{ мг/дм}^3$)

вода належала до 6-ї категорії якості (брудна). Загалом мутність води в річці Карасулак значно нижча, ніж у річці Дунай, яка в Сулинському гирлі в середньому за рік становить 325 мг/дм^3 [2,13-15, 21].

Таблиця 2. Статистична характеристика трофо-сапробіологічних показників р. Карасулак

Інгредієнти	Уміст, мг/дм^3					Рівень надійності, %
	Мінімальний	Максимальний	Середній	Стандартна похибка	Стандартне відхилення	
pH, од.	7,95	8,7	8,26	0,06	0,24	0,13
Завислі речовини	24,0	184,0	80,36	15,32	50,82	34,14
Жорсткість	23,0	49,01	34,35	2,33	9,00	4,99
O_2 , мг/дм^3	2,2	10,8	6,94	0,66	2,58	1,43
БСК ₅ , $\text{мгO}_2/\text{дм}^3$	3,2	8,6	5,19	0,43	1,65	0,91
ХСК $\text{мгO}_2/\text{дм}^3$	21,5	98,0	45,25	7,76	24,54	17,55
N-NH ₄	0,298	1,560	0,737	0,099	0,372	0,215
N-NO ₃	2,44	98,80	17,53	8,41	27,90	18,74
N-NO ₂	0,052	0,184	0,100	0,011	0,042	0,024
Фосфати	0,228	0,690	0,388	0,051	0,146	0,122
P, заг	0,308	0,724	0,445	0,048	0,137	0,115
Si	1,9	6,7	3,73	0,44	1,38	0,99

Величина pH води р. Карасулак за період досліджень змінювалась від 7,95 (24.03.2014) до 8,67 (30.08.2006). За середньозваженою величиною pH її вода належить до 4-ї категорії якості – середньолужна [17,18].

У р. Карасулак концентрація азоту аміаку змінювалась від 0,298 (22.04.2013 р.) до 1,56 (21.03.2007 р.) мг/дм^3 . За середньоарифметичними значеннями ($0,738 \text{ мг/дм}^3$) вода річки належала до 5-ї категорії якості.

Необхідно відмітити, що 88,0 % проб води річки мали значення NH_4 вищі за ГДК для водойм рибогосподарського призначення і 95,3 % проб – за граничний рівень 3 категорії якості екологічної оцінки ($0,3 \text{ мг/дм}^3$).

Концентрація NO_2 у воді р. Карасулак змінювалась від 0,052 (30.08.2006 р.) до 0,184 мг/дм^3 (22.04.2014 р.). За середньоарифметичним показником ($0,099 \text{ мг/дм}^3$) вода відносилася до 6-ї категорії якості (брудна) [17]. Крім того, 100 % проб води річки мали значення NO_2 вищі за ГДК для водойм рибогосподарського призначення і вищі за граничний рівень 3 категорії якості екологічної оцінки. Необхідно відмітити, що нітритний азот є найбільш токсичним із сполук азоту і може шкідливо позначатися на життєдіяльності живих організмів.

Уміст азоту нітратного у воді річки за роки досліджень змінювався від 2,44 (21.03.2007 р.) до 98,8 мг/дм^3

(20.03.2013 р.). За середньозваженими значеннями вмісту азоту нітратного ($17,525 \text{ мг/дм}^3$) вода річки належала до 7 категорії якості й була дуже брудною, а 45,5 % її проб мають значення NO_3 вищі за ГДК для водойм рибогосподарського призначення [18].

Уміст фосфатів у воді річки Карасулак змінювався від 0,228 (24.03.2014 р.) до 0,69 мг/дм^3 (12.03.2008 р.). При цьому усі проби води мали значення вищі за граничний рівень 3 категорії якості екологічної оцінки ($0,153 \text{ мг/дм}^3$). За середньоарифметичним значенням умісту фосфатів вода річки в 2006-2014 рр. належала до 7 категорії якості (дуже забруднена).

У воді р. Карасулак уміст кисню коливався від 2,2 (22.04.2013 р.) до 10,8 (16.02.2009 р.) $\text{мгO}_2/\text{дм}^3$. За середньоарифметичним показником умісту кисню ($6,94 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$) вода річки відноситься до 4 категорія якості.

Біологічне споживання кисню протягом п'яти діб для окислення органічних речовин, що містяться у воді р. Карасулак, в аеробних умовах змінювалось від 3,2 (20.03.2013 р.) до 8,6 (19.08.2007 р.) $\text{мгO}_2/\text{дм}^3$ (табл. 5). Граничнодопустимий рівень BSK_5 у водоймах рибогосподарського призначення $2,25 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$ для водойм господарсько-побутового й питного призначення - 3, гранична межа 3 категорії екологічної оцінки - $2,1 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$. В 100 % проб води BSK_5 перевищувало ГДК для водойм господарсько-побутового, питного призначення й граничну межу 3 категорії екологічної оцінки.

За середньоарифметичним показником біологічного споживання кисню протягом 5 діб ($5,19 \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$) вода річки в 2006-2014 рр. належала до 5

категорії якості (помірно забруднена) [17].

Хімічне споживання кисню (характеризує забруднення води органічними речовинами і визначає кількість кисню, що витрачається на окислення як легко так і важко окиснюваних органічних і неорганічних речовин, які містяться у воді сильним окисником – біхроматом калію). Цей показник у воді р. Карасулак змінювався від 21,5 (20.03.2013 р.) до 98 (21.05.2012 р.) $\text{мгO}/\text{дм}^3$, при середньоарифметичному значенні $45,25 \text{ мгO}/\text{дм}^3$, що є вищим за ГДК для водойм господарсько-побутового призначення ($15 \text{ мгO}/\text{дм}^3$). Отже, 100 % проб води річки мають значення ХСК вищі за ГДК для водойм господарсько-побутового призначення, а 90,0 % проб – вищі за граничну межу 3 категорії екологічної оцінки – $25 \text{ мгO}/\text{дм}^3$.

За середньоарифметичними значеннями ХСК (табл. 5), тобто за забрудненням органічними речовинами, вода річки Карасулак належала до 6 категорії якості (брудна).

Оцінювання якості води за специфічними речовинами токсичної дії. Уміст у природній воді нафтопродуктів, фенолів, СПАР, фторидів, ціанідів, пестицидів, важких металів та радіоактивності відноситься до специфічних показників токсичної й радіаційної дії.

Уміст нафтопродуктів у воді р. Карасулак змінювався від 0,046 (24.02.2014 р.) до 0,15 (19.08.2007 р.) мг/дм^3 . При цьому 63,6 % проб води за умістом нафтопродуктів перевищували ГДК для водойм рибогосподарського призначення та граничну межу 3 категорії якості. Жодна з проб води не перевищувала ГДК для водойм господарсько-побутового призначення ($0,3$

мг/дм^3). За середньоарифметичним показником умісту нафтопродуктів вода у 2006-2014 рр. належала до 4 ка-

тегорії якості й була слабо забрудненою (табл. 3) [17].

Таблиця 3. Статистична характеристика умісту специфічних речовин токсичної дії у воді р. Карасулак за період досліджень 2006-2014 рр., мг/дм^3

Інгредієнти	Уміст, мг/дм^3					Рівень надійності, 95,0 %
	Мінімальний	Максимальний	Середній	Стандартна похибка	Стандартне відхилення	
Феноли	0,001	0,004	0,0025	0,0003	0,0011	0,0008
НП	0,046	0,150	0,086	0,0108	0,0368	0,0234
СПАР	0	0,012	0,0049	0,0011	0,0035	0,0025
ІЗВ, од	1,86	5,31	2,92	0,22	0,83	0,46
Fe, заг	0,25	0,3	0,288	0,013	0,037	0,031
Cu^{2+}	0	0,018	0,0087	0,0016	0,0051	0,0036
Zn^{2+}	0	0,045	0,020	0,004	0,012	0,009
Cr^{6+}	0,002	0,012	0,0054	0,0012	0,0033	0,0028
Mn^{2+}	0,056	0,388	0,197	0,040	0,127	0,091
F^-	0,28	0,73	0,485	0,039	0,132	0,089

Уміст синтетичних поверхнево-активних речовин у воді р. Карасулак коливався від 0 (20.03.2013 р.) до 0,012 мг/дм^3 (18.03.2012 р.), що не перевищує ГДК для водойм рибогосподарського призначення і граничний рівень 3 категорії екологічної оцінки [17]. За середньозваженими значеннями СПАР вода належала до 2 категорії якості (чиста) (табл. 3).

Концентрація фенолів за роки досліджень у воді річки змінювалась від 0,001 (30.08.2006 р., 20.03.2013 р.) до 0,004 мг/дм^3 (21.03.2007 р., 24.03.2014 р.). При цьому переважна більшість проб (80,0 %) мали значення вищі від ГДК для водойм рибогосподарського призначення [18] й вищі за граничний рівень 3 категорії якості. Отже, вода р. Карасулак за середньозваженим умістом фенолів належала до 5 категорії якості (помірно забруднена) [17].

У водні об'єкти СПАР потрапляють у значних кількостях із господарсько-

побутовими й промисловими стічними водами. У поверхневих водах СПАР перебувають у розчиненому й сорбованому станах, а також у поверхневій плівці води водного об'єкта.

Уміст міді у воді річки змінювався від 0 (30.08.2006 р.) до 0,018 мг/дм^3 (16.02.2009 р.). При цьому 40,0 % проб містили міді більше за значення ГДК для водойм рибогосподарського значення [18] і 90,0 % проб – за граничний рівень 3 категорії якості. За середньоарифметичним значенням умісту міді вода р. Карасулак належала до 6 категорії якості [17].

Концентрація цинку у воді р. Карасулак за період 2006-2014 рр. змінювалась від 0 (30.08.2006 р.) до 0,045 мг/дм^3 (10.11.2007 р.). В 90,0 % проб уміст цинку був вищим за ГДК для водойм рибогосподарського призначення ($>0,01 \text{ мг/дм}^3$), а 40,0 % проб мали значення вищі за граничну межу 3 категорії екологічної оцінки ($0,02 \text{ мг/дм}^3$).

За середньозваженим вмістом **цинку** вода в річці за період досліджень належала до 3 категорії якості.

Уміст заліза у воді р. Карасулак змінювався від 0,25 (22.06.2010 р.) до 0,37 мг/дм³ (22.10.2013 р.). При цьому 100,0 % проб води мали значення вищі від ГДК для водойм рибогосподарського призначення, а 20,0 % - для водойм господарсько-побутового призначення. За середньозваженим вмістом **заліза** вода річки належала до 4 категорії якості (слабозабруднена, табл. 3).

Уміст Cr^{6+} у воді річки змінювався від 0,002 (26.02.2010 р.) до 0,012 мг/дм³ (24.03.2014 р.). При цьому, усі проби води річки мали значення умісту хрому вищі за ГДК для водойм рибогосподарського призначення (0,001 мг/дм³) [17] і значно нижчі за ГДК для водойм господарсько-побутового призначення (0,05 мг/дм³) [18].

Уміст **марганцю** у воді р. Карасулак змінювався від 0,056 (30.08.2006 р.) до 0,388 мг/дм³ (22.10.2013 р.) при середньоарифметичному значенні 0,197 мг/дм³ (табл. 5). Не було зафіксовано жодної проби води, де значення умісту Mn^{2+} було б нижчим за ГДК для водойм рибогосподарського призначення й нижчим 3 категорії якості води (0,01 мг/дм³), а 80,0 % води мали значення вищі за ГДК для водойм господарсько-побутового призначення (0,1 мг/дм³). Загалом рівень забруднення води марганцем є характерним і дуже високим [18].

За середньоарифметичним вмістом марганцю вода річки у 2006-2014 рр. належала до 5 категорії якості.

Уміст фторидів у воді Карасулак змінювався від 0,28 (10.11.2007 р.) до 0,78 (21.03.2007 р.) мг/дм³ і був присутнім у всіх проаналізованих пробах. За

середньоарифметичним показником вмісту фторидів (0,485 мг/дм³, табл. 3) вода річки у період досліджень належала до 5 категорії якості (помірно забруднена).

У різні роки води річки Карасулак містили різну, але незначну кількість хлор – та фосфорорганічних пестицидів. Найбільш часто фіксували пестициди або їх метаболіти – α -ГХЦГ, γ -ГХЦГ, ДДЄ, ДДТ, трефлан, ліндан, гексахлоран, гексахлорбензол, формальдегід у дозах від слідів до 0,000337 мг/дм³ (γ -ГХЦГ). Отже за вмістом залишків пестицидів вода річки в найгірших одиночних пробах належала до 3-ї категорії якості (досить чистої), в інших переважно – до чистої.

Розрахунок індексу забруднення води (ІЗВ) Р. Карасулак за обмеженим числом інгредієнтів (відношення середньоарифметичного значення до гранично допустимих концентрацій амонійного й нітратного азоту, НП, фенолів, BCK_5 , розчиненого кисню – тут ГДК ділиться на середнє значення) дав наступні результати [18]. В окремих пробах ІЗВ змінювався від 1,96 (22.00.2013 р.) до 5,31 (22.04.2013), тобто якість води змінювалася від 3 категорії (помірно забруднена) до 5 (брудна). При цьому 66,7 % проб води мали рівень забруднення вище 3 категорії якості (>2,5). Середньозважені показники забруднення води р. Карасулак за ІЗВ в період досліджень становили 2,92, що відповідає 4 категорії якості (забруднена) за трофосапробіологічними показниками.

Загальна оцінка води Карасулак **за всією множиною показників** (так званою функцією міри R_c) [18] наведена у табл. 4 і свідчить, що вода у 2006-2014 рр. належала до 5 категорії, тобто середньої якості.

Таблиця 4. Загальне оцінювання якості води р. Карасулак за всією множиною показників

Категорії якості води	Кількість показників відповідної категорії та загальна оцінка якості води
1	0
2	1
3	3
4	5
5	5
6	5
7	4
Загальна оцінка R_c	$114/23 = 4,95$
Категорія якості	5

Іригаційна оцінка якості води. Величина загальної мінералізації, відсотковий вміст головних іонів, наявність токсикантів, забруднювачів – це головні показники, які визначають можливість використання води для зрошення. Саме на загальній мінералізації й співвідношенні катіонів, а за Стеблером й аніонів, базується більшість методик оцінки якості поливної води.

За іригаційною оцінкою (**методика Буданова**) [4] сума всіх речовин хімічного складу мг-екв/дм³ поділена на величину жорсткості ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) у воді р. Карасулак змінювалася від 3,04 (19.08.2007 р.) до 4,83 (22.10.2013 р.). При цьому в 26,7 % проб значення перевищували 4, тобто граничний рівень придатності води для зрошення за цим показником. Середньозважений результат іригаційної оцінки за цією методикою (табл. 5) становить 3,67.

У воді р. Карасулак співвідношення $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ змінювалось від 1,26 (19.08.2007 р.) до 3,35 мг/дм³ (22.10.2013 р.) при тому, що мало б бути не більше одиниці. Проб води зі співвідношенням $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ менше 1 немає. Середньозважене значення

співвідношення $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ за весь період досліджень становить 1,97 (табл. 5).

Середньозважене співвідношення $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ у воді річки також перевищувало допустиму величину (0,7) і становило 0,83. Отже, за методикою іригаційної оцінки за Будановим вода річки Карасулак непридатна для зрошення.

Важливим критерієм оцінювання якості води для зрошення є вміст у ній магнію за методикою Сабольч й Дараб, який негативно діє на ґрунти при його вмісті в поливній воді понад 50% від суми кальцію і магнію [4]. Уміст магнію до суми кальцію та магнію змінювався від 52,51 (09.07.2013 р.) до 64,19 % (18.03.2012 р.). Усі проби води містять магнію більше, ніж дозволяє ця методика. За середньоарифметичним значенням співвідношення $(\text{Mg}/\text{Ca} + \text{Mg}) \times 100$ вода р. Карасулак є непридатною для зрошення й викликає магнієве осолонцювання зрошуваних ґрунтів.

За методикою Департаменту сільського господарства США поливна вода з коефіцієнтом SAR, вищим за 8, вважається небезпечною і призводить до натрієвого осолонцювання ґрунтів [20]. У воді р. Карасулак коефіцієнт SAR змінювався від 5,50 (21.03.2007 р.) до 13,91 (22.10.2013 р.) при середньоарифметичному значенні 9,56. Вода річки є сильно лужною з високою небезпечкою натрієвого осолонцювання зрошуваних ґрунтів.

За методикою Можейко і Воротнік [16], вода придунайських озер та річок, що в них впадають, за відношенням суми натрію та калію до суми всіх катіонів переважно придатна для зрошення. Але ця методика мало придатна для умов України і може застосовуватись тільки при зрошенні піщаних ґрунтів [6, 9-12].

За іншими нормами, закладеними в державний стандарт України на поливну воду [7], вода річки Карасулак також непридатна для зрошення.

Таблиця 5. Оцінювання якості води р. Карасулак за іригаційними показниками

Інгредієнти	Уміст, мг/дм ³					Рівень надійності, 95,0 %
	Мінімальний	Максимальний	Середній	Стандартна похибка	Стандартне відхилення	
Іригаційна оцінка якості води, мг-екв/дм ³						
Na/Ca	1,26	3,35	1,97	0,15	0,59	0,33
Na/Ca+Mg	0,51	1,36	0,83	0,07	0,26	0,15
Сума I/Ca+Mg	3,04	4,83	3,67	0,14	0,54	0,30
(Mg/Ca+Mg) 100	52,51	64,19	58,07	0,84	3,23	1,79
SAR	5,5	13,91	9,56	0,73	2,83	1,57
HCO ₃ -Ca	-13,98	-4,17	-8,11	0,68	2,64	1,47
Na/Сума катіонів	33,44	49,01	44,07	1,87	7,25	4,02
HCO ₃ , мг-евв/дм ³	4,43	8,36	6,13	0,25	0,98	0,54
CO ₃ , мг-евв/дм ³	0	0,2	0,058	0,020	0,079	0,044
Cl, мг-евв/дм ³	11,66	33,94	20,93	1,50	5,79	3,21
Σ солей екв. Cl	15,16	44,93	28,00	1,93	7,47	4,13

Таблиця 6. Уміст гіпотетичних солей у воді р. Карасулак

Інгредієнти	Уміст, мг-екв/дм ³					Рівень надійності, 95,0 %
	Мінімальний	Максимальний	Середній	Стандартна похибка	Стандартне відхилення	
NaCO ₃	0	0,2	0,058	0,020	0,079	0,044
Ca(HCO ₃) ₂	1,99	2,00	2,00	0,001	0,003	0,001
Mg(HCO ₃) ₂	2,43	6,36	4,12	0,25	0,98	0,54
NaHCO ₃	0	0	0	0	0	0
CaSO ₄	8,00	18,70	12,24	0,83	3,23	1,79
MgSO ₄	10,09	23,59	15,98	1,36	5,27	1,91
NaSO ₄	0,75	13,19	7,12	1,13	4,38	2,43
CaCl ₂	0	0	0	0	0	0
MgCl ₂	0	0	0	0	0	0
NaCl	11,29	33,51	20,79	1,43	5,52	3,05
KCl	0	0,59	0,36	0,03	0,13	0,07

Вода містить соду, а отже буде викликати підлуження ґрунту й натрієве осолонцювання.

Уміст хлору перевищує допустимі значення майже в 7 разів (табл. 5). Отже, така вода загрозлива щодо токсичного впливу на зрошувані рослини.

Розрахунок кількості гіпотетичних солей у воді р. Карасулак [7] дав такі

результати. Вода в період досліджень містила найбільш токсичну сіль – соду (табл. 6), яка викликає підлуження й натрієве осолонцювання зрошуваних ґрунтів. Так, уміст токсичних хлоридів натрію змінювався від 11,29 (21.03.2007 р.) до 33,51 мг-екв/дм³ (30.08.2006 р.), сульфатів натрію – від 0,75 до 13,19, сульфатів магнію – від

10,09 до 23,59, гідрокарбонатів магнію – від 2,43 до 6,36, нетоксичних сульфатів кальцію – від 8,00 до 18,7 мг-екв/дм³ (табл. 6).

Розрахунок *кількості токсичних солей в еквівалентах хлору* визначено за кількістю гіпотетичних солей [7]. За середньоарифметичним значенням цього показника 27,98 мг-екв/дм³ вода річки Карасулак придатна для зрошення лише піщаних ґрунтів. При зрошенні інших типів ґрунтів вона викликати засолення.

Отже, за більшістю методів іригаційної оцінки вода р. Карасулак є непридатною для зрошення й вимагає перед поливом насичення кальцієвими солями, ліквідації соди й розбавлення прісною водою [4, 7, 8, 16, 20].

Висновки

Статистичні характеристики води р. Карасулак свідчать про значну мілість компонентів її хімічного складу й загальної мінералізації.

Серед катіонів у воді річки частіше переважав натрій з концентрацією 330,0-1100,0 мг/дм³. Концентрацію Na⁺ нижчу за ГДК для водойм рибогосподарського і господарсько-побутового призначення не фіксували жодного разу.

Вода річки Карасулак дуже забруднена компонентами сольового складу – сульфати й хлориди. Сульфати є переважаючим аніоном з умістом від 954,0 до 2380,0 мг/дм³. За забруднення сульфатами вода р. Карасулак у 2006-2014 рр. належала до 7-ї категорії якості (дуже брудна).

Концентрація хлоридів у воді річки за роки досліджень становила 413,0-1203,0 мг/дм³. Усі проби води річки мали уміст хлоридів вищий за ГДК для водойм рибогосподарського та господарсько-побутового призначення. За середньоарифметичним умістом

хлоридів вода річки *Карасулак* у період 2006-2014 рр. належала до 4-ї категорії якості (слабкозабруднена);

Загальна мінералізація води річки змінювалася від 2361,0 до 5811,1 мг/дм³ при середньоарифметичній 4000 мг/дм³. За цим критерієм забруднення вона належить до 5 класу 7 категорії якості. Крім того, мінералізація води у річці Карасулак має значно вищу мінералізацію, ніж вода оз. Ялпуг, куди вона впадає.

За методикою екологічної оцінки вода р. Карасулак у 2006 –2014 рр. належала до солонуватої β-мезогалінної 3, а в деякі періоди й 4 категорії якості.

За класифікацією Альокіна [1], вода річки у 2006-2014 рр. мала сульфатно-хлоридний натрієво-магнієво-кальцієвий склад і належала до сульфатного класу натрієвої групи другого типу, що відповідає співвідношенню катіонів: HCO₃⁻ < Ca²⁺ + Mg²⁺ < HCO₃⁻ + SO₄²⁻.

За еколого-санітарними критеріями вода характеризується так: за середньоарифметичним значенням вмісту зважених часток (80,36 мг/дм³) вона належала до 6-ї категорії якості (брудна), за значеннями СПАР – до 2 категорії якості (чиста), за вмістом фенолів – до 5 категорії якості (помірно забруднена), за вмістом міді – до 6, за вмістом *цинку* – до 3, за вмістом *заліза* – до 4, за вмістом марганцю й фторидів – до 5 категорії якості.

За індексом забруднення вода р. Карасулак у період досліджень належала до 4 категорії якості (забруднена за трофо-сапробіологічними показниками).

Загальна оцінка води Карасулак *за всією множиною показників* (за так званою функцією міри R) свідчить, що вода у 2006-2014 рр. належала до 5 категорії, тобто посередньої якості.

За більшістю методів іригаційної оцінки (в тому числі державним стан-

дартм України) вода р. Карасулак є непридатною для зрошення й вимагає перед поливом насичення кальцієвими солями, ліквідації соди й розбавлення прісною водою.

Література

1. Алёкин О.А. К вопросу о химической классификации природных вод / О.А. Алёкин / - Вопросы гидротехники. Ленинград.: Гидрометиздат, 1946, 240 с.
2. Алмазов А.М. Гидрология устьевой области Дуная / А.М. Алмазов, К. Бондар, Н.Ф. Вагин. и др. / - М.: Гидрометеиздат, 1963. - 382 с.
3. Аринушкина Э.В. Руководство по химическому анализу почв / Э.В. Аринушкина, Изд. 2-ое, переработанное и дополненное. М.: Изд-во МГУ, 1970. - 630 с.
4. Буданов М.Ф. Система и состав контроля за качеством природных и сточных вод при использовании их для орошения / М.Ф. Буданов // Киев. : Урожай, 1970. - 48 с.
5. Гидрологический ежегодник. 1936-1990 гг. Т. 2. Вып. 0.
6. Гоголев И.Н. Орошение на Одессине. Почвенно-экологические и агротехнические аспекты/ И.Н. Гоголев, Р.А. Баер., А.Г. Кулибабин и др./ - Одесса. 1992. 436 с.
7. Державний стандарт України. Якість природної води для зрошення. Агрономічні критерії. ДСТУ 2730-94. Введений з 1.01.1995 р., 14 с.
8. ДЕРЖАВНІ САНІТАРНІ НОРМИ ТА ПРАВИЛА "Тігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною" (ДСанПін 2.2.4-171-10). - Київ. 2010. 42 с.
9. Лозовіцький П.С. Влияние минерализации поливной воды и срока орошения на засоление черноземов / П.С. Лозовіцький // М.: Почвоведение. 2003, № 5.- С. 611-622.
10. Лозовіцький П.С. Опыт дисперсионного анализа химического состава оросительных вод юга Украины / П.С. Лозовіцький // М.: Почвоведение. 2003, № 12.- С. 1491-1502.
11. Лозовіцький П.С. Влияние химических мелиорантов на изменение состава природных вод / П.С. Лозовіцький, В.А. Билай // М.: Водные ресурсы. 2001, № 4.- С. 494-504.
12. Лозовіцький П.С. Водні та хімічні меліорації ґрунтів / П.С. Лозовіцький // - К. 2010. 276 с
13. Лозовіцький П.С. Моніторинг якості води озера Кутурлуй / П.С. Лозовіцький // Часопис картографії. Вип. 9, 2013.- С. 104-139.
14. Лозовіцький П.С. Моніторинг якості води річки Дунай у м. Кілія / П.С. Лозовіцький // Причорноморський екологічний бюлетень.- 2011, № 4.- С. 158-182
15. Лозовіцький П.С. Оцінювання якості води оз. Ялпуг - м. Болград за сольовим складом і мінералізацією / П.С. Лозовіцький // Часопис картографії. Вип. 10, 2014.- С. 250-281.
16. Можейко А.М. Гипсование солонцеватых каштановых почв УССР, орошаемых минерализованными водами / А.М. Можейко, Т.К. Вороник // Тр. Укр. НИИ почвоведения, т. 3, Харьков, 1958.- С. 111-208.
17. Романенко В.Д. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / В.Д. Романенко, В.Н. Жукинський, О.П. Оксінок та ін.// - К.: СИМВОЛ-Т, 1998.- 28 с.
18. Сніжко С.І. Оцінка та прогнозування якості природних вод / С.І. Сніжко // Київ. "Ніка-Центр". 2001.- 262 с.
19. Унифицированные методы анализа вод: Изд. Химия, М., 1973.- 253 с.
20. Циркуляр № 969 Департамента сельского хозяйства США. Классификация оросительной воды (сокр. пер. с англ.)-1955.
21. dbuvnt@ukrpost.ua Дунайське басейнове управління водних ресурсів. Протоколи засідання Міжвідомчої комісії по встановленню режиму роботи Придунайських водосховищ за 2007-2012 рр.

УДК 504.4.054

МИНИМИЗАЦИЯ ОБЩИХ ЗАТРАТ НА ОЧИСТКУ СТОЧНЫХ ВОД ПРИ НОРМИРОВАНИИ ВОДООТВЕДЕНИЯ

Проскурнин О.А.

Научно-исследовательское учреждение «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем»
ул. Бакулина, 6, 61166, г. Харьков,
oapriskurnin@mail.ru

Рассмотрена задача нормирования состава сточных вод, поступающих в водный объект. Предложено учитывать кроме эксплуатационных еще и капитальные затраты на строительство и установку очистных сооружений, а также возможность регулирования параметров водоочистки. Наведен пример расчета. *Ключевые слова:* сточные воды, водный объект, загрязняющее вещество, нормативы качества, контрольный створ, допустимый сброс, функция цели.

Мінімізація загальних витрат на очищення стічних вод при нормуванні водовідведення. Проскурнін О.А. Розглянуто задачу нормування складу стічних вод, що надходять у водний об'єкт. Запропоновано враховувати окрім експлуатаційних також капітальні витрати на будівництво та установку очисних споруд, а також приймати до розгляду можливість регулювання параметрів водоочищення. Наведено демонстраційний приклад розрахунку. *Ключові слова:* стічні води, водний об'єкт, забруднююча речовина, нормативи якості, контрольний створ, допустимі концентрації.

Minimization of the general expenses on wastewater treatment at standertization of unset pollutants in with waste water. Proskurnin O. The problem of regulation of substances in wastewater discharging into water bodies is considered. It is offered take into account the capital expense on construction and installation wastewater treatment plants. It is also offered adjust parameters of wastewater treatment. Example of the solution is proposed. *Keywords:* sewages, waterbody, pollutants, standards quality, point of the checking, allowable concentrations.

Введение

С целью предотвращения недопустимо высокого уровня загрязнения бассейнов рек сточными водами для предприятий-водопользователей разрабатываются и утверждаются предельно допустимые сбросы (ПДС) загрязняющих веществ [1]. Это предельная масса вещества, которая разрешена для отвода в водный объект (ВО) в единицу времени. Согласно действующей инструкции [2] расчет ПДС следует проводить по бассейно-

вому принципу, который предполагает одновременное определение допустимых концентраций веществ в сточных водах (СВ) для всех выпусков, расположенных на участке бассейна реки.

Бассейновый принцип расчета ПДС полностью соответствует современным системным подходам к управлению водным хозяйством страны должен обеспечивать восстановление природно-экологического равновесия в экосистемах и экобезопасное водопользование. В соответствии с концепцией водной