

Оцінка впливу регульованого скидання високомінералізованих шахтних вод Кривбасу на господарське використання р. Інгулець

Л.Я. Аніщенко¹, В.О. Полозенцева², Б.С. Сverdlov³, М.О. Винокуров⁴

^{1, 2, 3} Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем» (м. Харків, Україна), email: ^{1,3} l_anishenko@ukr.net, ² polozentseva2402@gmail.com
⁴ Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, (м. Харків, Україна), email: nvinokurov789@ukr.net

Проведене дослідження впливу регульованого скидання високомінералізованих шахтних вод зі ставка-накопичувача у балці Свистунова та створеного при цьому особливого гідрологічного режиму на використання водних ресурсів нижньої ділянки р. Інгулець.

Вказано на необхідність оцінювання екологічного стану цієї ділянки річки та впливу на неї антропогенних чинників з відокремленням різних фаз штучно створеного гідрологічного режиму річки.

За цим принципом оцінено вплив регульованого скидання шахтних вод на якість води р. Інгулець на підставі систематизації та аналізу відомчих та опублікованих даних гідрохімічних вимірювань за період 2012 - 2017 р. р. у контрольних створах в межах ділянки р. Інгулець від Карачунівського водосховища до створу с. Садове.

За результатами аналізу даних гідрохімічного моніторингу під час скидання зворотних вод в осінньо-зимові періоди виявлені ключові впливи, які поширюються на всю нижню ділянку р. Інгулець і полягають у підвищенні мінералізації річкової води, насамперед, за рахунок вмісту хлоридів та сульфатів.

Оцінено придатність води нижньої течії Інгульця для використання у комунально-побутових цілях, рекреації та зрошення в різні фази штучного гідрологічного режиму. Встановлено, що за винятком гирла, де постійно переважає дніпровська вода, в усіх інших досліджених створах пониження Інгульця якість води наближається до нормативної лише в період весняно-літньої промивки русла та оздоровчих попусків. Саме в цей період вода р. Інгулець використовується для зрошення.

Зроблено висновок, що промивка русла р. Інгулець з залученням значних обсягів дніпровської води, акумульованих у Карачунівському водосховищі, є єдиним реалізованим екологічним заходом, який дозволяє у сучасних умовах техногенного навантаження використовувати водні ресурси ріки для комунально-побутових цілей, рекреації та зрошення протягом вегетаційного періоду.

Ключові слова: скидання високомінералізованих шахтних вод, ставок-накопичувач, оцінка впливу, якість води, комунально-побутові потреби, зрошення.

Постановка проблеми. Річка Інгулець є типовою рівнинною річкою України. Основна область формування стоку розміщена в верхній частині її басейну. Тут формується 80% сумарного стоку річки, який у верхній та середній ділянках річки зарегульований Олександрійським, Іскрівським та Карачунівським водосховищами. Ці водосховища є джерелами водопостачання, відповідно, міст Олександрія, Жовті Води, Кривий Ріг, зрошення прилеглих сільськогосподарських земель та рекреації. У нижній ділянці річки найбільшим водокористувачем є Інгулецька зрошувальна система (рисунк. 1).

В межах Кривбасу річки Інгулець і Саксагань приймають високомінералізовані зворотні води хвостосховищ гірничозбагачувальних комбінатів, ставка-накопичувача шахтних вод у б. Свистунова, недостатньо очищені стічні води ряду промислових та комунальних підприємств. Внаслідок скидання забруднених зворотних вод відбувається різке погіршення якості річкової води на

ділянці від Карачунівського водосховища до межі Миколаївської області (с. Андріївка), що зменшує можливість її використання для питних, побутових та інших потреб. Мінералізація води р. Інгулець на цій ділянці складає 2,0-3,5 г/дм³, досягаючи під час скидання шахтних вод 8-9 г/дм³.

За діючою схемою водовідведення основний обсяг високомінералізованих шахтних вод акумулюється у ставку-накопичувачі, розташованому на відстані 3,2 км від р. Інгулець у балці Свистунова, яка відкривається у річище Інгульця з лівого берега.

Основний чинник забруднення р. Інгулець при скиданні шахтних вод із ставка-накопичувача – їх висока мінералізація. Концентрація солей у скидних водах коливається в межах 38,0 - 42,0 г/дм³ (в середньому близько 40,0 г/дм³).

В останні роки регульоване скидання надлишків зворотних вод зі ставка-накопичувача в обсязі 10,0 - 12,0 млн. м³ здійснюється згідно з щорічно затверджуваним «Регламентом скиду» виключно у міжвегетаційний період (листопад – лютий) з

розбавленням зворотних вод шляхом одночасної подачі води з Карачунівського водосховища у р. Інгулець у кількості, достатній для досягнення рекомендованих концентрацій забруднюючих речовин у контрольному створі нижче місця скиду. Ці концентрації було визначено за результатами проведених Національним аграрним університетом НАН України та інститутом гідробіології НАН багаторічних досліджень впливу підвищеної мінералізації на життєдіяльність іхтіофауни, відповідно до яких в міжвегетаційний період вміст хлоридів у воді р. Інгулець нижче зони змішування не повинен перевищувати $4,5 \text{ г/дм}^3$ при загальному рівні мінералізації не більше $9,0 \text{ г/дм}^3$ [1].

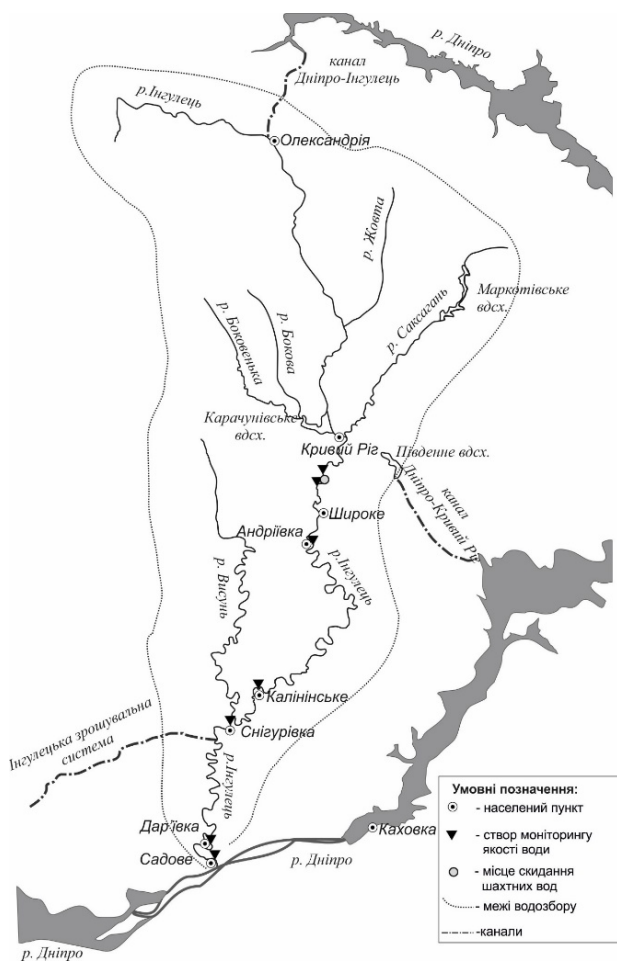


Рис. 1. Основні елементи водогосподарської системи р. Інгулець

Після скидання надлишків зворотних вод для поліпшення якості води у водному об'єкті та ліквідації наслідків скидання здійснюється промивка русла річки Інгулець від греблі Карачунівського водосховища до її гирла.

Для компенсації обсягів води, що при цьому скидаються з Карачунівського водосховища, відповідні обсяги дніпровської води подаються

каналом «Дніпро-Інгулець» у верхню частину басейну р. Інгулець. Після завершення промивки настає так званий стабілізаційний (фоновий) період, коли стік річки Інгулець формується тільки за рахунок постійно діючих водовипусків, як на річці Інгулець так і її притоках. Виключення становить період подачі води для забезпечення потреб зрошення та підтримки рекреації на р. Інгулець в літній період в рамках реалізації з 2011 р. «Регламенту промивки русла та екологічного оздоровлення р. Інгулець, поліпшення якості води у Карачунівському водосховищі та на водозаборі Інгулецької зрошувальної системи». Як правило, весняно-літня промивка та оздоровлення р. Інгулець в 2012 - 2017 рр. відбувалась з середини квітня по середину серпня [1].

Таким чином, у сучасних умовах на нижній ділянці р. Інгулець сформовано штучний гідрологічний режим з чітко визначеними періодами, які істотно відрізняються один від одного умовами водокористування, перш за все, витратами та якістю води. Це потребує відповідного підходу до оцінювання екологічного стану цієї ділянки річки та впливу на нього антропогенних чинників.

Аналіз останніх досліджень. Дослідженням хімічного складу води р. Інгулець присвячений ряд робіт [2 - 8]. Проведена оцінка впливу скидання шахтних вод свідчить про те, що формування хімічного складу вод р. Інгульця відбувається під впливом потужного антропогенного навантаження на водні ресурси річки [9].

Дослідження науковців, як правило, базуються на результатах аналізу узагальнених багаторічних даних щодо гідрохімічного режиму річки (середніх величинах показників) та не охоплюють всього періоду спостережень (як правило, розглядається інформація до 2014 р). Вивчення динаміки якості води р. Інгулець з виокремленням різних фаз гідрологічного режиму річки має сформулювати більш точне уявлення про фактори формування гідрохімічного режиму та є передумовою для розробки конкретних водоохоронних заходів.

Мета досліджень. Дослідити вплив регульованого скидання високомінералізованих шахтних вод зі ставка-накопичувача у б. Свистунова та створеного при цьому особливого гідрологічного режиму на використання нижньої ділянки р. Інгулець для задоволення побутових потреб населення, рекреації та зрошення.

Результати досліджень. Оцінка впливу регульованого скидання шахтних вод на якість води р. Інгулець проведена на підставі систематизації та аналізу відомчих та опублікованих даних гідрохімічних вимірювань за період 2012 - 2017 р. р. у відомчих контрольних створах в межах ділянки р. Інгулець від Карачунівського водосховища до державного контрольного гідропоста в с. Андріївка, у створі м. Снігурівка та у створах

моніторингу Держводінспекції у нижній течії р. Інгулець від с. Андріївка до місця впадіння у р. Дніпро (створи: «р. Інгулець, 265 км, с. Андріївка», «р. Інгулець, 124 км, с. Калінінське», «р. Інгулець, 20 км, с. Дар'ївка», «р. Інгулець, 0 км, с. Садове, гирло р. Інгулець»).

Обробка отриманих даних проводилася за допомогою додатку Microsoft Excel і розділу описових статистик та графіки програми Statistica (ver. 10).

Оцінювалася відповідність значень показників якості води гранично допустимим концентраціям забруднюючих речовин в воді для водойм культурно-побутового водокористування (ГДК_{кп}) за СанПіН 4630-88 та зрошувальним нормам за ДСТУ 2730:2015 [10].

З аналізу даних моніторингу якості води, одержаних на ділянці від Карачунівського водосховища до гирла р. Інгулець під час скидання зворотних вод з ставка-накопичувача б. Свистунова, впливає:

1. За результатами щотижневих гідрохімічних аналізів за 15-ма показниками вода р. Інгулець на досліджуваній ділянці відповідала встановленим нормативам тільки за 3-ма показниками: нітрати, нітрити, азот амонійний. Для 12-ти показників (хлориди, сульфати, мінералізація, БСК₅, завислі речовини, нафтопродукти, залізо загальне, феноли, фосфати, розчинний кисень, ХСК, рН) встановлено невідповідність ГДК. При цьому за вмістом завислих речовин, розчиненого кисню, рН невідповідність ГДК_{кп} відмічалася на всій ділянці річки; перевищення ГДК_{кп} за вмістом нафтопродуктів, заліза, фосфатів, ХСК, БСК встановлено на ділянці р. Інгулець вище скиду б. Свистунова, а за вмістом хлоридів, сульфатів, мінералізації – на ділянці р. Інгулець нижче скиду з б. Свистунова.

2. Значення показників вмісту у воді азоту амонійного та нітритів у контрольних створах вище скиду з б. Свистунова перевищувало значення, характерні для нижчерозташованих контрольних створів, відповідно, до 2,6 та до 6 разів. При цьому модальні значення цих показників зменшувалися по мірі віддалення від випусків комунальних та промислових стічних вод внаслідок процесів самоочищення.

3. За даними щоденних вимірювань вміст *хлоридів* у контрольних створах, розміщених вище скиду зі ставка-накопичувача у б. Свистунова, був значно нижчий від їх вмісту в контрольних створах нижче скиду. Більшість значень цього показника у воді р. Інгулець вище скиду знаходилося в діапазоні від 125 до 800 мг/дм³ (0,4 - 2,3ГДК_{кп}), а середнє значення дорівнювало 408,5 мг/дм³. Для контрольних створів нижче скиду з б. Свистунова характерним був вміст хлоридів в воді в межах 2200 - 4300 мг/л (6,3 - 12,3 ГДК_{кп}), а середнє значення дорівнювало

2981,8 мг/дм³, що в 7 раз більше середнього значення цього показника в р. Інгулець вище скиду.

4. Більшість значень показника вмісту *сульфатів* у контрольних створах вище скиду з ставка-накопичувача у б. Свистунова не виходило з діапазону 300 - 800 мг/дм³ (0,6 - 1,6 ГДК_{кп}), а середнє значення дорівнювало 550,8 мг/дм³. У контрольних створах нижче скиду діапазон більшості значень становив 450 - 1000 мг/дм³ (0,9 - 2,0 ГДК_{кп}), а середнє значення дорівнювало 720,9 мг/дм³, що в 1,3 рази більше середнього значення цього показника в р. Інгулець вище скиду.

Таким чином, на підставі наведених вище результатів досліджень якості води р. Інгулець у період скидання в її русло шахтних вод зі ставка-накопичувача у б. Свистунова можна стверджувати, що зазначена діяльність викликає погіршення якості води р. Інгулець нижче місця скидання шахтних вод за такими показниками, як хлориди, сульфати, мінералізація, при цьому найсуттєвіший вплив полягає у збільшенні в річковій воді концентрації хлоридів.

Нижче наведено результати аналізу внутрірічної динаміки якості води у нижній течії р. Інгулець за вмістом хлоридів і сульфатів, які є ключовими факторами впливу регульованого скидання високомінералізованих шахтних вод. Аналіз динаміки вмісту хлоридів в створах с. Андріївка та м. Снігурівка був проведений на основі відомчих даних щоденних вимірювань. У інших випадках предметом аналізу були оприлюднені результати моніторингу Державного водного агентства України (далі – Держводагентство) [11].

Вміст хлоридів у створі с. Андріївка (265 км від гирла р. Інгулець) у проаналізованій часовій період знаходився в межах 662 - 4327 мг/дм³. Кратність перевищення ГДК_{кп} в створі с. Андріївка досягала 8,2 разів. Під час промивки кратність перевищення ГДК_{кп} за вмістом хлоридів утримувалась на рівні 3,2 разів (рис. 2).

Діапазон коливань концентрації сульфатів у цьому створі становив 416 - 1092 мг/дм³. У період промивки концентрація сульфатів була близькою до значення 500 мг/дм³, тобто, на рівні ГДК_{кп}, проте, іноді досягала 600 мг/дм³, що відповідало рівню 1,2 ГДК_{кп}. Для осінньо-зимового періоду та першої половини весни характерними були концентрації сульфатів у діапазоні 650 - 1000 мг/дм³ (тобто на рівні 1,3 - 2 ГДК_{кп}).

Для створу с. Калінінське діапазон коливань вмісту хлоридів в 2008 - 2017 рр. був 231 - 3030 мг/дм³ (рис. 3). Вміст сульфатів у створі с. Калінінське був у діапазоні 249 - 1089 мг/дм³.

Діапазон концентрації хлоридів та сульфатів у цьому створі був досить близьким до діапазону цих показників у створі с. Андріївка.

Вміст хлоридів в воді р. Інгулець в створі м. Снігурівка, який знаходиться на відстані

приблизно 103 км від гирла річки, вище головної насосної станції ІЗС і м. Снігурівка, характеризується діапазоном значень 130 - 4180 мг/л (рис. 4).

У створі с. Дар'ївка_вміст хлоридів коливався в межах 35,8 - 2890 мг/дм³ (рис. 5) Верхня межа

діапазону хлоридів та середнє значення показника майже співпадали з даними, одержаними у створі с. Калінінське, але нижня межа при цьому була майже у 7 разів нижчою, ніж для створу с. Калінінське.

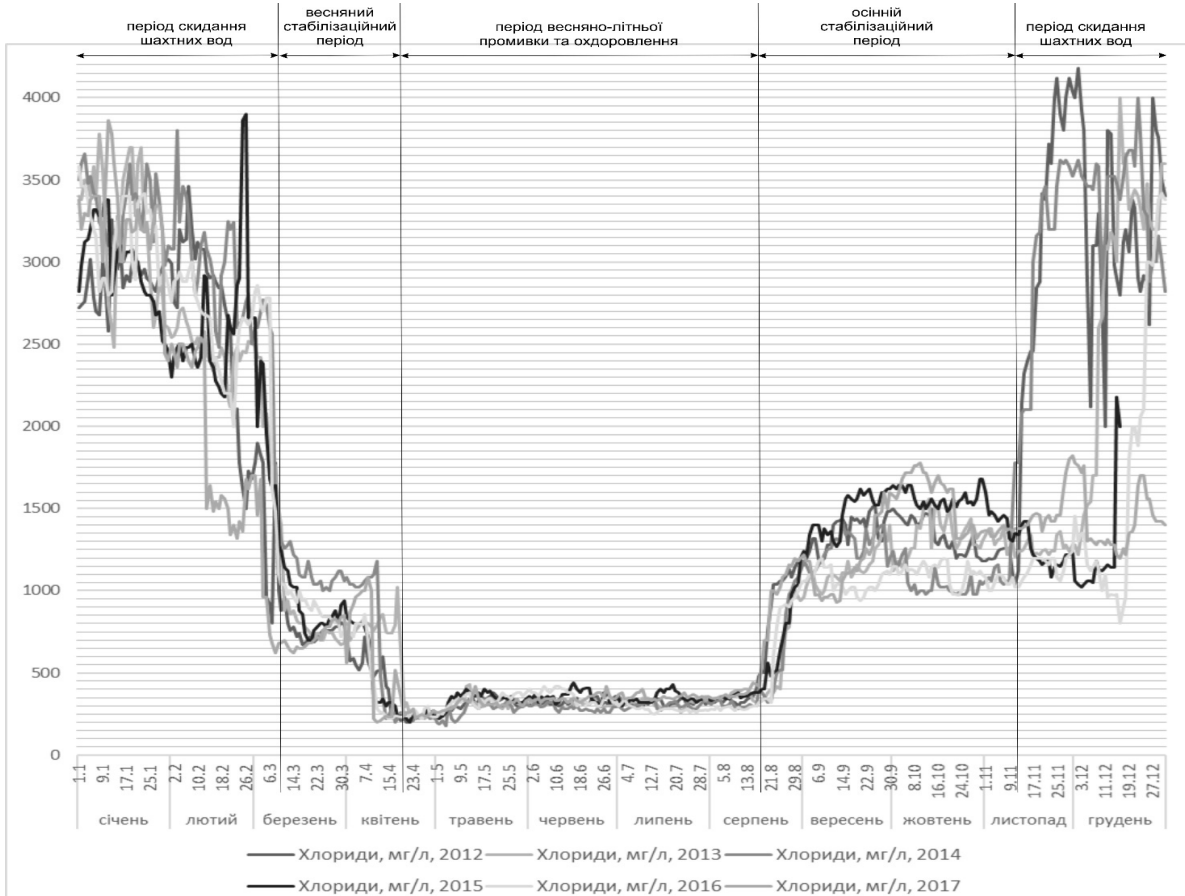


Рис. 2. Динаміка вмісту хлоридів (мг/дм³) в воді р. Інгулець в створі державного гідропоста с. Андріївка

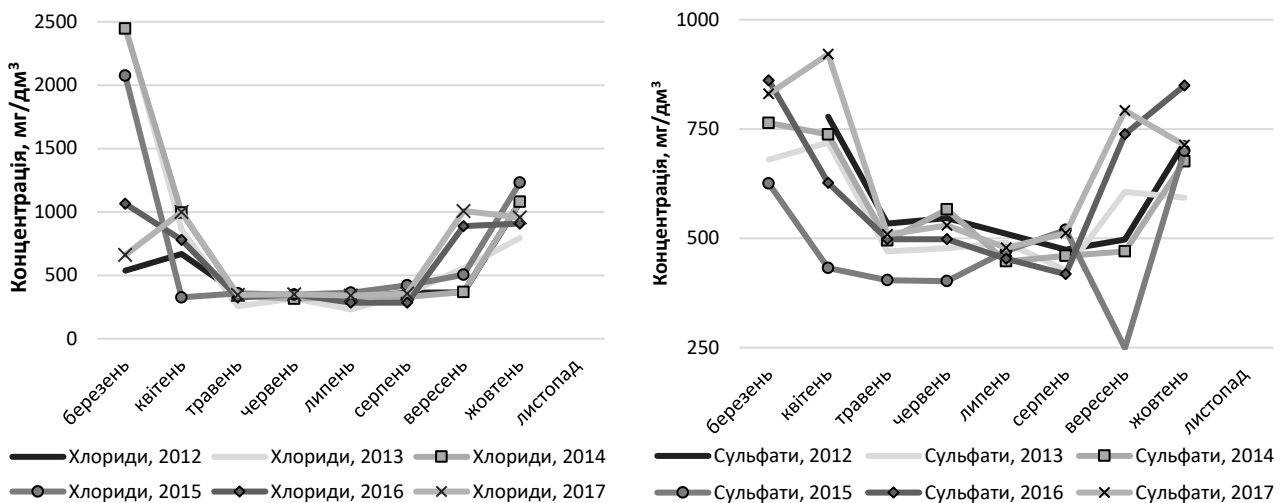


Рис. 3. Динаміка вмісту сульфатів та хлоридів в воді р. Інгулець в створі с. Калінінське (124 км)

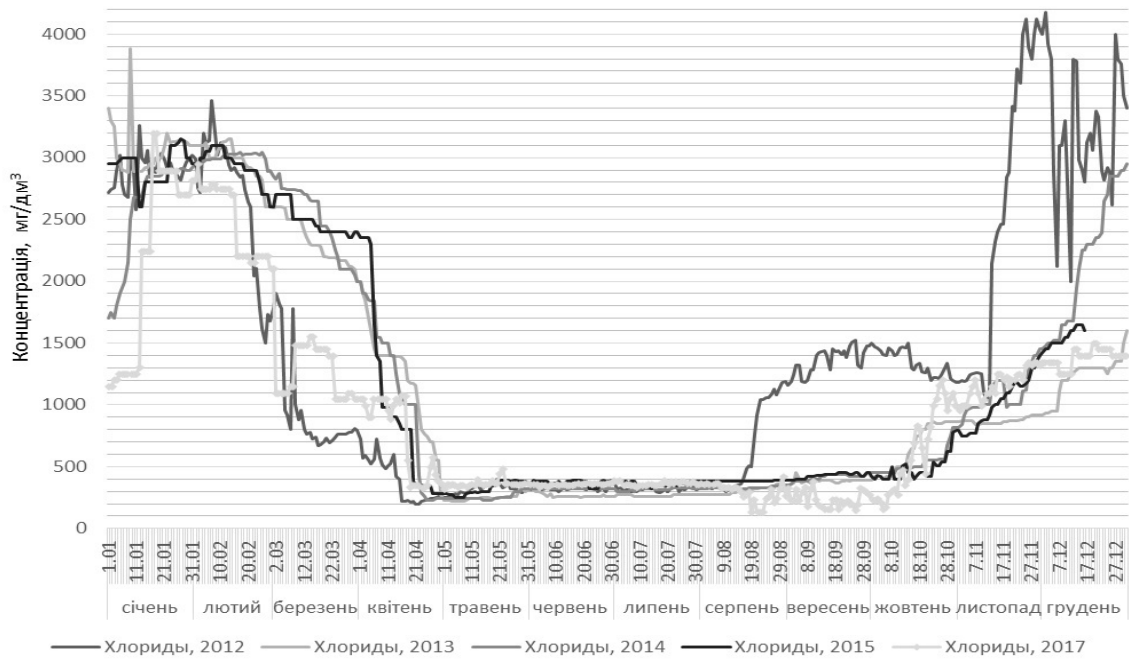


Рис. 4. Динаміка вмісту хлоридів (мг/дм³) в воді р. Інгулець в контрольному створі м. Снігурівка (103 км)

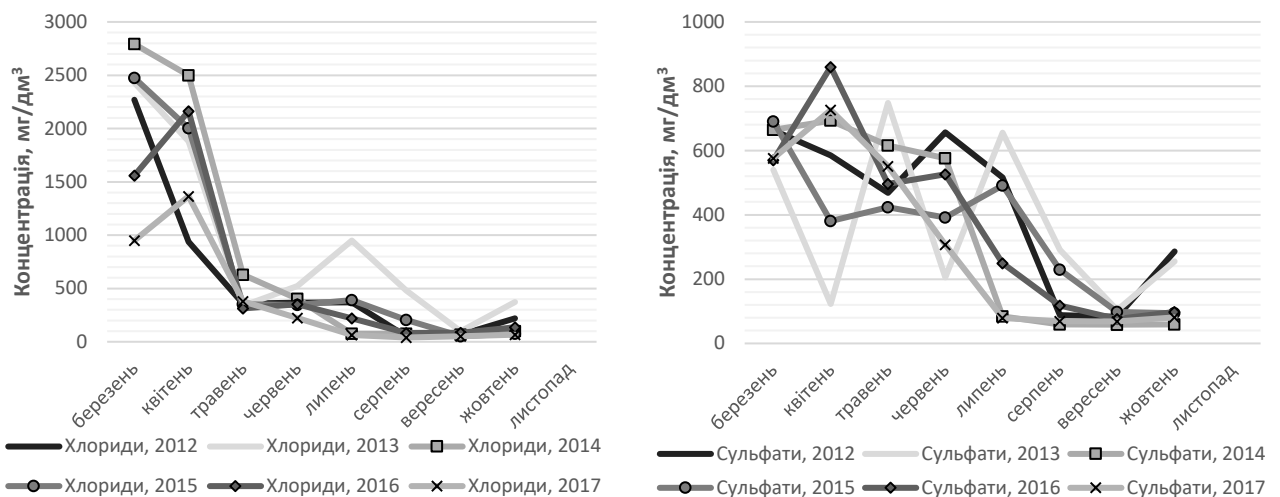


Рис. 5. Динаміка вмісту хлоридів та сульфатів у воді р. Інгулець у створі с. Дар'ївка (20 км)

Вміст сульфатів в створі с. Дар'ївка був у діапазоні 49,9 - 929 мг/дм³, Верхня межа діапазону сульфатів була лише на 15 % нижчою, ніж у створі с. Калінінське, тоді як нижня межа при цьому була у 5 разів нижчою, ніж у створі с. Калінінське, при цьому середнє значення показника було майже вдвічі нижчим, ніж обчислене для створу с. Калінінське.

Близькі до мінімальних значення вмісту хлоридів і сульфатів у створі с. Дар'ївка фіксувалися лише у період роботи Інгулецької зрошувальної системи і могли бути викликані потраплянням при цьому дніпровської води у пригирлову частину річища Інгульця.

Для створу с. Садове діапазон концентрацій хлоридів у 2015 - 2017 рр. був 35,1 - 1138 мг/дм³. Вміст сульфатів в створі с. Садове був у діапазоні 41 - 326,5 мг/дм³. Найбільші значення вмісту хлоридів і сульфатів спостерігались в квітні, травні та першій половині червня та, як правило, були невисокими (рис. 6).

З метою узагальнення наявних даних та для спрощення аналізу були розраховані середні за 5 років значення вмісту хлоридів та сульфатів та їх співвідношення з ГДК_{кп} в межах окремих гідрологічних періодів для кожного створу (таблиці 1 - 4).

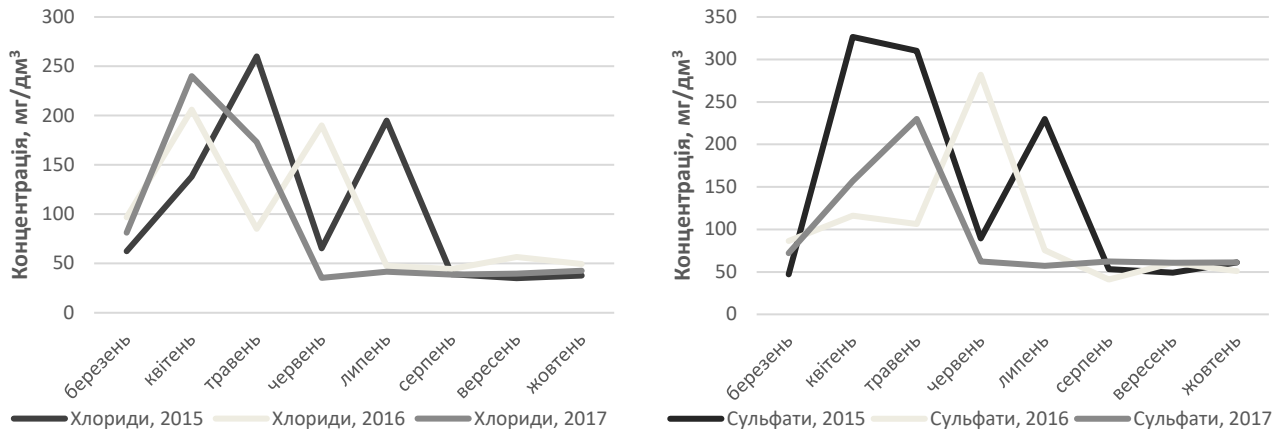


Рис. 6. Динаміка вмісту сульфатів та хлоридів в воді р. Інгулець (гірло) в створі с. Садове (0 км)

Таблиця 1. Узагальнені дані щодо вмісту (мг/дм³) хлоридів в воді р. Інгулець (понижзя річки) за 5 років (2012 - 2017) (за даними щоденних та щомісячних вимірювань)

Контрольний створ	Період			
	Скид надлишку шахтних вод (листопад - лютий)	Стабілізація (березень - квітень)	Промивка (травень - серпень)	Стабілізація (серпень - жовтень)
с. Андріївка	<u>2400 - 3800</u> 2568	<u>2340 - 790</u> 1090	<u>440 - 200</u> 327	<u>600 - 1700</u> 1064
с. Калінінське	-	<u>2446 - 538</u> 1459	<u>362 - 231</u> 332	<u>364 - 1500</u> 846
м. Снігурівка	<u>888 - 3068</u> 2128	<u>2398 - 906</u> 1720	<u>340 - 224</u> 320	<u>506 - 952</u> 646
с. Дар'ївка	-	<u>2890 - 637</u> 1947	<u>347 - 40,1</u> 248	<u>51,5 - 291</u> 142
с. Садове	-	<u>206 - 43,5</u> 117	<u>190 - 35,4</u> 101	<u>35,1 - 56,7</u> 43,6

Примітка: В чисельнику – діапазон значень вмісту хлоридів в воді за п'ятирічний період, в знаменнику – середнє значення за період, «-» – відсутність масивів даних

Таблиця 2. Узагальнені дані щодо вмісту (в одиницях ГДК_{кп}) хлоридів в воді р. Інгулець (понижзя річки) за 5 років (2012 - 2017)

Контрольний створ	Період			
	Скид надлишку шахтних вод (листопад - лютий)	Стабілізація (березень - квітень)	Промивка (травень - серпень)	Стабілізація (серпень - жовтень)
с. Андріївка	<u>6,9 - 10,9</u> 7,34	<u>6,7 - 2,3</u> 3,11	<u>1,3 - 0,66</u> 0,93	<u>1,7 - 4,9</u> 3,04
с. Калінінське	-	<u>7 - 1,5</u> 4,17	<u>1,04 - 0,66</u> 0,95	<u>1,04 - 4,3</u> 2,42
м. Снігурівка	<u>2,5 - 8,8</u> 6,08	<u>6,9 - 2,6</u> 4,9	<u>0,97 - 0,64</u> 0,91	<u>1,5 - 2,72</u> 1,85
с. Дар'ївка	-	<u>8,3 - 1,8</u> 5,56	<u>0,99 - 0,11</u> 0,71	<u>0,15 - 0,83</u> 0,41
с. Садове	-	<u>0,59 - 0,12</u> 0,33	<u>0,54 - 0,1</u> 0,29	<u>0,1 - 0,16</u> 0,12

Примітка: В чисельнику – діапазон значень кратності перевищення ГДК_{кп} хлоридів в воді за п'ятирічний період, в знаменнику – кратність перевищення ГДК_{кп} середнього значення за період, «-» – відсутність масивів даних

Таблиця 3. Узагальнені дані щодо вмісту (мг/дм³) сульфатів в воді р. Інгулець (понижзя річки) за 5 років (2012 - 2017) (за даними щоденних та щомісячних вимірювань)

Контрольний створ	Період			
	Скид надлишку шахтних вод (листопад - лютий)	Стабілізація (березень - квітень)	Промивка (травень - серпень)	Стабілізація (серпень - жовтень)
с. Андріївка	<u>737 - 890</u> 817	<u>900 - 570</u> 682	<u>535 - 486</u> 508	<u>822 - 983</u> 902
с. Калінінське	–	<u>744 - 739</u> 742	<u>503 - 468</u> 482,8	<u>592 - 736</u> 677
м. Снігурівка	–	–	–	–
с. Дар'ївка	–	<u>637 - 617</u> 627	<u>550 - 42,3</u> 370,6	<u>134 - 720</u> 348
с. Садове	–	<u>327 - 47</u> 113,5	<u>310 - 41</u> 133	<u>49,2 - 61,3</u> 57,3

Примітка: В чисельнику – діапазон значень вмісту сульфатів в воді за п'ятирічний період, в знаменнику – середнє значення періоду, «–» – відсутність масивів даних

Таблиця 4. Узагальнені дані щодо вмісту (в одиницях ГДК_{кп}) сульфатів в воді р. Інгулець (понижзя річки) за 5 років (2012 - 2017)

Контрольний створ	Період			
	Скид надлишку шахтних вод (листопад - лютий)	Стабілізація (березень - квітень)	Промивка (травень - серпень)	Стабілізація (серпень - жовтень)
с. Андріївка	<u>1,5 - 1,8</u> 1,63	<u>1,8 - 1,14</u> 1,36	<u>1,07 - 0,97</u> 1,02	<u>1,6 - 2</u> 1,8
с. Калінінське	–	<u>1,49 - 1,48</u> 1,48	<u>1,01 - 0,94</u> 0,97	<u>1,18 - 1,5</u> 1,35
м. Снігурівка	–	–	–	–
с. Дар'ївка	–	<u>1,3 - 1,2</u> 1,25	<u>1,1 - 0,28</u> 0,74	<u>0,27 - 1,4</u> 0,7
с. Садове	–	<u>0,33 - 0,13</u> 0,23	<u>0,43 - 0,1</u> 0,27	<u>0,11 - 0,12</u> 0,114

Примітка: В чисельнику – діапазон значень кратності перевищення ГДК_{кп} сульфатів в воді за п'ятирічний період, в знаменнику – кратність перевищення ГДК_{кп} середнього значення за період, «–» – відсутність масивів даних

За даними таблиць 1 та 3 відмічається тенденція зменшення вмісту хлоридів та сульфатів в воді р. Інгулець за течією. У всіх створах зміни вмісту речовин за періодами відбуваються одноманітно. Найбільші значення показників припадають на період скидання шахтних вод (листопад - лютий), найменші – на період промивки та оздоровчих попусків.

Розрахунок кратності перевищення ГДК_{кп} за хлоридами та сульфатами для нижньої частини р. Інгулець (таблиці 2 та 4) показав, що тільки в створі с. Садове вода річки відповідає нормативам на протязі всього року. Межі діапазонів концентрацій хлоридів і сульфатів у цьому створі свідчать про присутність у гирлі Інгульця великих мас дніпровської води, які нівелюють вплив скидання шахтних вод з ставка-накопичувача у б. Свистунова.

В інших створах пониззя Інгульця якість води наближається до нормативної лише в період промивки русла та оздоровчих попусків. Саме в

цей період вода р. Інгулець використовується для зрошення.

Водозабір Інгулецької зрошувальної системи розташовується в м. Снігурівка. Площа зрошуваних земель становить понад 60 тис. га, а площа обводнення – 175 тис. га. Ґрунтовий покрив у межах системи представлений чорноземами південними гумусними та темно-каштановими ґрунтами. На глибині кількох метрів від поверхні залягають горизонти легкорозчинних солей, які мають негативний вплив на стан меліорованих земель [6].

Джерелом живлення Інгулецької зрошувально-обводнювальної системи за проектом її будівництва передбачено р. Дніпро, вода з якого антирічкою по заглибленому на відстані 80 км руслу р. Інгулець мала надходити до місця водозабору головної насосної станції продуктивністю 36 м³/с та змішуватися там з інгулецькою водою у співвідношенні 75 - 80% до 20 - 25% для забезпечення допустимої для зрошення якості [6].

У сучасних умовах відповідне співвідношення досягається за рахунок подачі дніпровської води каналом Дніпро-Інгулець у верхів'я р. Інгулець, її акумулювання у суміші зі стоком р. Інгулець у Карачунівському водосховищі та оздоровчих попусків з останнього у зрошувальний період.

Оцінку якості води для зрошення у створах нижньої ділянки р. Інгулець проведено за ДСТУ 2730:2015 «Якість природної води для зрошення. Агрономічні критерії». Суму токсичних солей в еквівалентах хлору у міліеквівалентах на дециметр кубічний обчислювали за формулою [10]:

$$eCl^- = Cl^- + 0,2SO_4^{2-} + 0,4HCO_3^- + 5CO_3^{2-} \quad (1)$$

де Cl^- – кількість хлоридів, мекв/дм³; SO_4^{2-} – кількість токсичних сульфатів, мекв/дм³; HCO_3^- – кількість токсичних гідрокарбонатів, мекв/дм³; CO_3^{2-} – кількість токсичних карбонатів, мекв/дм³.

З необхідних даних для розрахунку ми маємо тільки інформацію щодо вмісту в воді хлоридів та сульфатів, тому вміст гідрокарбонатів та карбонатів візьмомо середні за період 1988 - 2008, наведені в [6] у контрольних створах нижче 7 км м. Кривий Ріг та с. Садове. За відсутності даних щодо вмісту карбонатів у воді річки, цей доданок у розрахунках не враховувався. Вихідні дані для розрахунків наведені у таблиці 5.

У розрахунку суми токсичних солей в еквівалентах іону хлору для періоду осінньої стабілізації після оздоровчої промивки р. Інгулець (серпень - жовтень) дані щодо вмісту гідрокарбонатів в воді використовувались узагальнені для літньо-осінньої межні.

РОЗРАХУНОК суми токсичних солей в еквівалентах іону хлору для періоду весняної стабілізації після скиду шахтних вод (березень - квітень)

с. Андріївка

$$eCl^- = 30,75 + 0,2 \cdot 7,10 + 0,4 \cdot 5,87$$

$$eCl^- = 34,52 \text{ мекв/дм}^3$$

(II клас якості води, обмежено придатна)
с. Калінінське

$$eCl^- = 41,16 + 0,2 \cdot 7,73 + 0,4 \cdot 5,87$$

$$eCl^- = 45,05 \text{ мекв/дм}^3$$

(III клас якості води, непридатна)

м. Снігурівка

$$eCl^- = 48,52 + 0,2 \cdot 7,13 + 0,4 \cdot 2,91$$

$$eCl^- = 51,1 \text{ мекв/дм}^3$$

(III клас якості води, непридатна)

с. Дар'ївка

$$eCl^- = 54,92 + 0,2 \cdot 6,53 + 0,4 \cdot 2,91$$

$$eCl^- = 57,39 \text{ мекв/дм}^3$$

(III клас якості води, непридатна)

с. Садове

$$eCl^- = 3,3 + 0,2 \cdot 1,23 + 0,4 \cdot 2,91$$

$$eCl^- = 4,71 \text{ мекв/дм}^3 \text{ (I клас якості води)}$$

РОЗРАХУНОК суми токсичних солей в еквівалентах іону хлору для періоду оздоровчої промивки р. Інгулець (травень-серпень)

с. Андріївка

$$eCl^- = 9,22 + 0,2 \cdot 5,3 + 0,4 \cdot 5,68$$

$$eCl^- = 12,55 \text{ мекв/дм}^3$$

(I клас якості води, придатна)

с. Калінінське

$$eCl^- = 9,37 + 0,2 \cdot 5,03 + 0,4 \cdot 5,68$$

$$eCl^- = 12,65 \text{ мекв/дм}^3$$

(I клас якості води, придатна)

м. Снігурівка

$$eCl^- = 9,03 + 0,2 \cdot 4,5 + 0,4 \cdot 2,8$$

$$eCl^- = 11,05 \text{ мекв/дм}^3$$

(I клас якості води, придатна)

с. Дар'ївка

$$eCl^- = 7 + 0,2 \cdot 3,9 + 0,4 \cdot 2,8$$

$$eCl^- = 8,9 \text{ мекв/дм}^3$$

(I клас якості води, придатна)

с. Садове

$$eCl^- = 2,85 + 0,2 \cdot 1,4 + 0,4 \cdot 2,8$$

$$eCl^- = 4,25 \text{ мекв/дм}^3$$

(I клас якості води, придатна)

Таблиця 5. Середні багаторічні значення показників в мекв/дм³

Контрольний створ	Cl^- (2012 - 2017)			SO_4^{2-} (2012 - 2017)			HCO_3^- (1988 - 2008)	
	березень - квітень	травень - серпень	серпень - жовтень	березень - квітень	травень - серпень	серпень - жовтень	весняна повінь	літньо-осіння межень
с. Андріївка	30,75	9,22	30	7,10	5,3	9,40	5,87 (нижче 7 км м. Кривий Ріг)	5,68 (нижче 7 км м. Кривий Ріг)
с. Калінінське	41,16	9,37	23,86	7,73	5,03	7,05	5,87 (нижче 7 км м. Кривий Ріг)	5,68 (нижче 7 км м. Кривий Ріг)
м. Снігурівка	48,52	9,03	18,22	7,13*	4,5*	5,3*	2,91 (с. Садове)	2,8 (с. Садове)
с. Дар'ївка	54,92	7	4	6,53	3,9	3,6	2,91 (с. Садове)	2,8 (с. Садове)
с. Садове	3,3	2,85	1,23	1,18	1,4	0,6	2,91 (с. Садове)	2,8 (с. Садове)

* середнє значення показника між створами вище і нижче м. Снігурівка

РОЗРАХУНОК суми токсичних солей в еквівалентах іону хлору для періоду осінньої стабілізації після оздоровчої промивки р. Інгулець (серпень - жовтень)

с. Андріївка

$$eCl^- = 30 + 0,2 \cdot 9,4 + 0,4 \cdot 5,68$$

$$eCl^- = 34,15 \text{ мекв/дм}^3$$

(II клас якості води, обмежено придатна)

с. Калінінське

$$eCl^- = 23,86 + 0,2 \cdot 7,05 + 0,4 \cdot 5,68$$

$$eCl^- = 27,54 \text{ мекв/дм}^3$$

(II клас якості води, обмежено придатна)

м. Снігурівка

$$eCl^- = 18,22 + 0,2 \cdot 5,3 + 0,4 \cdot 2,8$$

$$eCl^- = 20,4 \text{ мекв/дм}^3$$

(II клас якості води, обмежено придатна)

с. Дар'ївка

$$eCl^- = 4 + 0,2 \cdot 3,6 + 0,4 \cdot 2,8$$

$$eCl^- = 5,84 \text{ мекв/дм}^3$$

(I клас якості води, придатна)

с. Садове

$$eCl^- = 1,23 + 0,2 \cdot 0,6 + 0,4 \cdot 2,8$$

$$eCl^- = 2,5 \text{ мекв/дм}^3$$

(I клас якості води, придатна)

Результати розрахунків якості води для зрошення представлені на рис. 7.

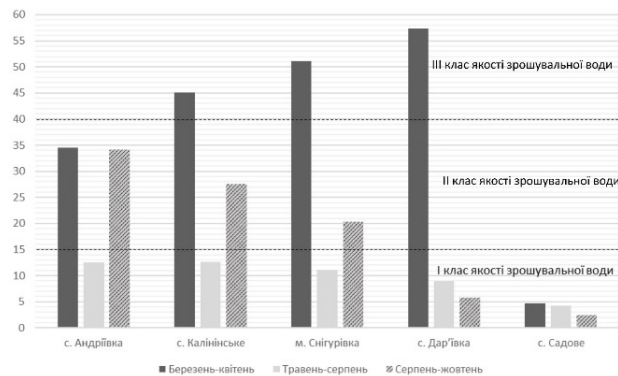


Рис. 7. Результати розрахунків якості води для зрошення

Результати розрахунків показали, що вода в створах р. Інгулець нижче за течією від місця скидання шахтних вод в період весняної стабілізації (березень – квітень) відноситься переважно до III класу якості зрошувальної води, в період промивки (травень – серпень) – до I класу зрошувальної води, в період осінньої стабілізації (серпень – жовтень) – переважно до II класу. Як відомо, використання поливної води II та III класу якості зрошувальної води призводить до засоленням ґрунтів на значній площі [12]. Таким чином, завдяки оздоровчій промивці в період вегетації у всіх створах пониззя р. Інгулець досягаються нормативи якості зрошувальної води.

На сьогодні промивка русла р. Інгулець є єдиним реалізованим екологічним заходом, що робить можливим використовувати її водні ресурси для господарсько-побутових цілей, рекреації та зрошення. Але даний захід є ресурсовитратним – для промивки річки витрачається близько 120 – 130 млн. м³ дніпровської води [6].

Висновки. У сучасних умовах у зв'язку з щорічним регульованим скиданням надлишків зворотних вод зі ставка-накопичувача у балці Свистунова в обсязі 10,0 – 12,0 млн. м³ на нижній ділянці р. Інгулець сформовано штучний гідрологічний режим з чітко визначеними періодами, які істотно відрізняються один від одного умовами водокористування, перш за все, витратами та якістю води.

Це потребує відповідного підходу до оцінювання екологічного стану цієї ділянки річки та впливу на нього антропогенних чинників з виокремленням різних фаз гідрологічного режиму річки.

Оцінка впливу регульованого скидання шахтних вод на якість води р. Інгулець, виконана на підставі систематизації та аналізу відомчих та опублікованих даних гідрохімічних вимірювань за окремі періоди 2012 – 2017 р. р. у контрольних створах в межах ділянки р. Інгулець від Карачунівського водосховища до створу в с. Садове, дозволила визначити ключові впливи зазначеної діяльності на умови задоволення комунально-побутових потреб населення та зрошення. Вони полягають у погіршенні якості води р. Інгулець нижче місця скидання шахтних вод за такими показниками, як хлориди, сульфати, мінералізація, при цьому найсуттєвіший вплив полягає у збільшенні в річковій воді концентрації хлоридів, яка простежується до гирла річки.

Відмічена тенденція до зменшення вмісту хлоридів та сульфатів в воді р. Інгулець за течією. У всіх створах найбільші значення показників припадають на період скидання шахтних вод (листопад – лютий), найменші – на період промивки та оздоровчих попусків протягом вегетаційного періоду, коли якість води пониззя р. Інгулець наближається до встановлених нормативів.

Зазначено, що промивка русла р. Інгулець із залученням значних обсягів дніпровської води, акумульованих у Карачунівському водосховищі, є єдиним реалізованим екологічним заходом, який дозволяє у сучасних умовах техногенного навантаження використовувати водні ресурси ріки для комунально-побутових цілей, рекреації та зрошення протягом вегетаційного періоду.

Література

1. Регламент скиду надлишків зворотних вод гірничорудних підприємств Кривбасу у 2016-2017 рр. / Український головний проектно-розвідуваль-

ний та науково-дослідний Інститут з меліоративного та водогосподарського будівництва, Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України». Київ, 2016. 93 с. Режим доступу: URL: <https://ukurier.gov.ua/media/documents/2016/12/09/r929.pdf>. (дата звернення 20.12.2019).

2. Куликова О.Н. Влияние горнодобывающей промышленности на качество вод р. Ингулец. *Устойчивое развитие: загрязнение окружающей среды и экологическая безопасность: 1995 рік: труды межд. конф. Днепропетровск: ДДУ. 1995., Т.1 – 87 с.*

3. Мовчан О.Г., Мовчан В. В. Дослідження загального впливу гірничо-рудних підприємств Кривбасу на забруднення р. Ингулец. *Екологія та здоров'я людини. Охорона водного і повітряного басейнів. Утилізація відходів: 2005 р:* матеріали Міжнар. Наук.-практ. Конф. 13-17 червня 2005р. Харків: Алушта, 2005. С. 942-947.

4. Гідрохімічні дослідження річок Ингулец і Саксагань у зоні впливу підприємств Кривбасу (1994-2004 рр)/ Шевченко П. Г. та ін. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія.* 2006. № 11. С. 144-145.

5. Хільчевський В.К., Кравчинський Р.Л., Чунарьов О.В. Гідрохімічний режим та якість води Ингульця в умовах техногенезу: монографія. Київ: Ніка-Центр, 2012. 180 с.

6. Вільдман І. Л. Наукові основи створення системи інтегральних біоценотичних методів контролю водних систем (на прикладі р. Ингулец): дис. ... канд. Техн.: 21.06.01. Київський національний університет будівництва та архітектури, Київ, 2015. 222 с.

7. Шахман І.А., Лобода Н.С. Оцінка якості води у створі р. Ингулец – м. Снігурівка за гідрохімічними показниками. *Український гідрометорологічний журнал.* 2016. № 17. С. 123-136.

8. Екологічна оцінка якості поверхневих вод басейну річки Ингулец в середній течії. / Максимова Н.М. та ін. *Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету (технічні науки).* 2019. Том 1. № 34. С. 137-145.

9. Аніщенко Л. Я., Полозенцева В. О., Сverdlov Б. С. Комплексна оцінка впливів діючих вододім-накопичувачів на довкілля. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського.* 2019. Вип. 5, С. 65-74.

10. ДСТУ 2730:2015. Якість природної води для зрошення. Агронімічні критерії. [Чинний від 22 червня 2015 р.]. Київ, ДП «УкрНДНЦ», 2016, 13 с.

11. Дані моніторингу водних ресурсів України. URL: <http://old.data.gov.ua/passport/e202bd1f-71b0-48b2-87e7-7e4fb1d7e2d5> (дата звернення 25.06.2019).

12. Лозовицкий П.С. Влияние минерализации поливной воды и срока орошения на засоление черноземов. *Почвоведение.* 2003. №5. С. 611-622.

References

1. Reglament skidu nadlishkiv zvorotnih vod girnichorudnih pidpriemstv Krivbasu u 2016-2017 rr. (2016). *Ukraïns'kij golovnij proektno-rozviduval'nij ta naukovo-doslidnij Institut z meliorativnogo ta vodogospodars'kogo budivnictva.* Derzhavna ustanova «Institut geohimii navkolishn'ogo seredovishcha Nacional'noï akademii nauk Ukraïni», [online] p.93. Available at: <https://ukurier.gov.ua/media/documents/2016/12/09/r929.pdf> [Accessed 20 Dec. 2019].

2. Kulikova, O. (1995). Vliyanie gornodobyvayushchej promyshlennosti na kachestvo vod r. Ingulec. *Ustojchivoje razvitie: zagryaznenie okruzhajushchej sredy i ekologicheskaya bezopasnot': 1995 rik: trudy mezhd. konf., 1, p.87.*

3. Movchan, O. and Movchan, V. (2005). *Doslidzhennya zagal'nogo vplivu girnicho-rudnih pidpriemstv Krivbasu na zabrudnennya r. Ingulec'.* Harkiv: Alushta: Ekologiya ta zdorov'ya lyudini. Ohorona vodnogo i povitryanogo basejnu. Utilizaciya vidhodiv, pp.942-947.

4. SHevchenko, P. (2006). *Gidrohimični doslidzhennya richok Ingulec' i Saksagan' u zoni vplivu pidpriemstv Krivbasu (1994-2004 rr).* Hidrologiya, gidrohimiya i gidroekologiya., (11), pp.144-145.

5. Hil'chevs'kij, V., Kravchins'kij, R. and CHunar'ov, O. (2012). *Gidrohimičniy rezhim ta yakist' vodi Ingul'cya v umovah tekhnogenezu: monografiya.* Kii'v: Nika-Centr, p.180.

6. Vil'dman, I. (2015). *Naukovi osnovi stvorennya sistemi integral'nih biocenotichnih metodiv kontrolyu vodnih sistem (na prikladi r. Ingulec').* dis. ... kand. tekhn.: 21.06.01. Kii'vs'kij nacional'nij universitet budivnictva ta arhitekturi.

7. SHahman, I. and Loboda, N. (2016). *Ocinka yakosti vodi u stvori r. Ingulec' – m. Snigurivka za gidrohimičnimi pokaznikami.* Ukraïns'kij gidrometorologichnij zhurnal., (17), pp.123-136.

8. Maksimova, N. (2019). *Ekologichna ocinka yakosti poverhnevih vod basejnu richki Ingulec' v serednij techii.* Zbirnik naukovih prac' Dniprovs'kogo derzhavnogo tekhnichnogo universitetu (tekhnichni nauki)., 1(34), pp.137-145.

9. Anishchenko, L., Polozenceva, V. and Sverdlov, B. (2019). *Kompleksna ocinka vpliviv diyuchih vododjm-nakopichuvachiv na dovkillya.* Visnik KrNU imeni Mihajla Ostrograds'kogo., (5), pp.65-74.

10. DP «UkrNDNC» (2016). *DSTU 2730:2015. Yakist' prirodnoï vodi dlya zroshennya. Agronomichni kriterii.* [Chinnij vid 22 chervnya 2015 r.]. Kii'v, p.13.

11. Anon, (n.d.). *Dani monitoringu vodnih resursiv Ukraïni.* [online] Available at: <http://old.data.gov.ua/passport/e202bd1f-71b0-48b2-87e7-7e4fb1d7e2d5> [Accessed 25 Jun. 2019].

12. Lozovickij, P. S. (2003). *Vliyanie mineralizacii polivnoj vody i sroka orosheniya na zasolenie chernozemov.* Pochvovedenie, (5), pp.611-622.

Аннотация

Оценка воздействия регулируемого сброса высокоминерализованных шахтных вод Кривбасса на хозяйственное использование р. Ингульца

Л.Я. Анищенко, В.А. Полозенцева, Б.С. Свердлов, Н.А. Винокуров

Выполнено исследование воздействия регулируемого сброса высокоминерализованных шахтных вод из пруда-накопителя в б. Свистунова и созданного при этом особого гидрологического режима на использование водных ресурсов нижнего участка р. Ингульца.

Указано на необходимость оценки экологического состояния этого участка реки и воздействия на него антропогенных факторов с выделением различных фаз искусственно созданного гидрологического режима реки.

По этому принципу оценено воздействие регулируемого сброса шахтных вод на качество воды р. Ингульца выполнена на основании систематизации и анализа ведомственных и опубликованных данных гидрохимических измерений за период 2012–2017 гг. в контрольных створах в пределах участка р. Ингульца от Карачуновского водохранилища до створа с. Садового.

По результатам анализа данных гидрохимического мониторинга во время сброса возвратных вод в осенне-зимние периоды выявлены ключевые воздействия, распространяющиеся на весь нижний участок р. Ингульца и проявляющиеся в повышении минерализации речной воды, прежде всего, за счет содержания хлоридов и сульфатов.

Оценена пригодность воды нижнего течения Ингульца для использования в коммунально-бытовых целях, рекреации и орошения в различные фазы гидрологического режима. Установлено, что за исключением устья, где постоянно преобладает днепровская вода, в остальных исследуемых створах низовья Ингульца качество воды приближается к нормативному только в период весенне-летней промывки русла и оздоровительных попусков. Именно в этот период вода используется для орошения.

Сделан вывод, что промывка русла р. Ингульца с привлечением значительных объемов днепровской воды, аккумулируемых в Карачуновском водохранилище, является единственным реализованным экологическим мероприятием, позволяющим в современных условиях техногенной нагрузки использовать водные ресурсы реки для коммунально-бытовых целей, рекреации и орошения на протяжении периода вегетации.

Ключевые слова: сброс высокоминерализованных шахтных вод, пруд-накопитель, оценка воздействия, качество воды, коммунально-бытовые потребности, орошение.

Abstract

An assessment of the impact of regulated highly mineralized mine water discharge on the economic water use of the Ingulets river

L.Ya. Anishchenko, V.O. Polozentseva, B.S. Sverdlov, N.A. Vinokurov

The study of the impact influence of regulated discharge of highly mineralized mine water from the storage tank in the Svistunov gulch and a special hydrological regime for the use of the lower section of the Ingulets river.

It is indicated that it is necessary to assess the ecological state of this section of the river and the impact of anthropogenic factors on it, with the allocation of different phases of the artificially created hydrological regime of the river.

According to this principle, the assessment impact of regulated discharge of mine water on the water quality of the Ingulets river was evaluated based on the systematization and analysis of departmental and published data of hydrochemical measurements for the period 2012-2017 in control section the site of the Ingulets river from the Karachunovsky reservoir to the site in the Sadovoye village was made an assessment of the impact of regulated mine water discharge on the water quality of the Ingulets river.

Based on the analysis of water quality control data by hydrochemical indicators during the discharge of return water in the autumn-winter periods, key impacts were identified that apply to the entire lower section of the river Ingulets.

It was performed the availability of the downstream Ingulets river for use in municipal purposes, for recreation and irrigation in different phases of the hydrological regime. It was found that with the exception of the

mouth, where the Dnieper water constantly prevails, in the other studied sections of the lower Ingulets river, the water quality approaches the standard only during the spring-summer washing of the riverbed and recreational releases. It is during this period that water is used for irrigation.

It was conclusion that the flushing of the Ingulets river bed with a large volume of Dnieper water from the Karachunovsky reservoir is the only implemented environmental measure. In modern conditions of anthropogenic load, this event allows the use of river water resources for household purposes, recreation and irrigation during the growing season.

Keywords: *discharge of high-mineralized mine water, storage reservoir, assessment of environmental impact, water quality, utility needs, irrigation*

Бібліографічне посилання/ Bibliography citation: Harvard

Anishchenko, L., Polozentseva, V., Sverdlov, B. and Vinokurov, N. (2019). An assessment of the impact of regulated highly mineralized mine water discharge on the economic water use of the Ingulets river. *Engineering of nature management*, (4(14), pp. 91 - 102.

Подано до редакції / Received: 02.12.2019