

АНАЛІЗ І ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ҐРУНТІВ І ГІДРОСФЕРИ КРИВБАСУ

Салій І.В.¹, Засельський В.Й.², Криворучкіна О.В.²,
Пополов Д.В.², Сусло Н.В.², Сагалай Д.В.², Фортуна В.О.³

¹Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, 03035, м. Київ

²Технологічний навчально-науковий інститут
Державного університету економіки і технологій
вул. Степана Тільги, 5, 50006, м. Кривий Ріг, Дніпропетровська обл.

³Казенне підприємство «Кривбасгеологія»
пр. Поштовий, 37, 50000, м. Кривий Ріг, Дніпропетровська обл.
igor.salii@gmail.com, kminmetau@gmail.com, fortuna 7432@gmail.com

Дослідження ґрунтів і гідросфери, що входять до Криворізького промислового регіону, є одним із найважливіших завдань в охороні навколишнього природного середовища. Сучасний стан довкілля в Кривому Розі має чітко виражений техногенний характер, який сформувався внаслідок впливу роботи металургійного комбінату «АрселорМіттал Кривий Ріг» і великої кількості гірничо-збагачувальних і різноманітних промислових підприємств. Ступінь забруднення ґрунтів важкими металами значною мірою залежить від кількості надходження їх у навколишнє середовище, а також від природних кліматичних умов (температури повітря, кількості атмосферних опадів, рН ґрунту, механічного складу ґрунтів тощо) та фізико-хімічних особливостей цих сполук (їх розчинності у воді, леткості тощо). У ґрунтах визначався загальний валовий уміст кадмію, мангану, міді, нікелю, свинцю, цинку. Основними джерелами надходження забруднюючих сполук у річку Інгулець у районі м. Кривий Ріг є рудникові промислові стічні води Криворізького та Інгулецького гірничозбагачувальних комбінатів.

Скидання зворотних вод гірничорудними підприємствами Кривбасу в р. Інгулець створює потенційну загрозу для життя та здоров'я людей, котрі споживають питну воду, джерелом якої є ця річка. Води річки характеризуються значним забрудненням сполуками важких металів передусім сполуками мангану, міді, хрому шестивалентного, дещо менше сполуками цинку та заліза загального. Найбільш високий рівень забруднення води спостерігають за сполуками мангану. Середні концентрації цього показника перевищували ГДК у 2–8 разів, а максимальні разові – у 2–26 разів. Аналіз стану ґрунтів і гідросфери Криворізького регіону свідчить про незадовільний їх стан. Установлено, що діяльність промислового комплексу міста значно впливає на кількість і показники техногенних факторів, які, у свою чергу, негативно впливають на якість ґрунтів і гідросфери. Для уникнення техногенної катастрофи та покращення стану ґрунтів і гідросфери необхідно очищення шахтних вод включати до загального технологічного циклу підприємств, що дасть можливість раціонально використовувати природні ресурси.
Ключові слова: ґрунти, гідросфера, проби води, забруднення, зворотні води, важкі метали, моніторинг, концентрація забруднення, мінералізація, екосистема.

Analysis and research of the state of soils and hydrosphere of Kryvbas. Saliy I., Zaselskyi V., Kryvoruchkina O., Popolov D., Suslo N., Sahalai D., Fortuna V.

Research of soils and hydrosphere, which is part of the Kryvyi Rih industrial region, is one of the most important tasks in environmental protection. The current state of the environment in Kryvyi Rih has a clear technogenic character, which was formed as a result of the impact of the metallurgical plant "ArcelorMittal Kryvyi Rih" and a large number of mining and processing and various industrial enterprises. The degree of contamination of soils with heavy metals largely depends on the amount of their entry into the environment, as well as on natural climatic conditions (air temperature, precipitation, soil pH, mechanical composition of soils, etc.) and physicochemical properties of these compounds (their solubility in water, volatility, etc.). The total gross content of cadmium, manganese, copper, nickel, lead, and zinc was determined in the soils.

The main sources of pollutants in the Ingulets River near Kryvyi Rih are the industrial wastewater mines of the Kryvyi Rih and Ingulets Mining and Processing Plants. The discharge of return water by the mining enterprises of Kryvbas in the Ingulets River poses a potential threat to the life and health of people who consume drinking water, the source of which is this river. The river waters are characterized by significant pollution by heavy metal compounds, primarily manganese, copper, hexavalent chromium, and to a lesser extent by zinc and total iron.

The highest level of water pollution is observed for manganese compounds. The average concentrations of this indicator exceeded the MPC by 2–8 times, and the maximum single concentrations by 2–26 times. Analysis of the state of soils and hydrosphere of the Kryvyi Rih region indicates their unsatisfactory condition. It is established that technogenic factors from the activity of the industrial complex of the city significantly affect the environment, especially the quality of soils and the hydrosphere.

To avoid a man-made catastrophe and improve the condition of soils and hydrosphere, it is necessary to include mine water treatment in the general technological cycle of enterprises, which will allow the rational use of natural resources. *Key words:* soils, hydrosphere, water samples, pollution, return waters, heavy metals, monitoring, concentration, mineralization, ecosystem.

Постановка проблеми. За останні роки аналіз досліджень щодо ґрунтів і гідросфери [1; 2; 3; 4; 5] свідчить, що в зоні впливу гірничо-металургійних підприємств Кривбасу склалися загрозливі обставини, які потребують вагомих сучасних науково-технічних рішень, спрямованих на суттєве покращення екологічного стану як у самому місті, так і на прилеглих до нього територіях.

Найбільш потужними користувачами води в Україні є промислові підприємства, які є основними лідерами щодо обсягів скидання зворотних вод у прилеглі водойми річок, де їх частка перевищує 60% [1].

Актуальність дослідження. Загрозливим є негативний вплив на стан річок зворотних неочищених і дуже мінералізованих шахтних і кар'єрних вод [5; 6]. Так, у циклах технологічних підприємств Кривбасу діють схеми використання шахтних вод з накопиченням їх надлишків і щорічним скиданням у річку Інгулець, що потребує обов'язкового подальшого промивання її русла водою, акумульованої у водосховищах. Щорічно в Кривбасі відкачується від 20 до 22 млн м³ високомінералізованих шахтних вод із середньою мінералізацією майже 30 г/л, де вміст хлоридів, сульфатів, магнію, калію перевищує гранично допустимі концентрації для поверхневих водневих об'єктів. Крім шахтних вод, відкачують щорічно від 18 до 20 млн м³ і кар'єрних, що в сукупності становить понад 40 млн м³ [6].

Окрім гідросфери, до основних елементів загальної екосистеми зараховують також ґрунти. Для великих міст характерне забруднення ґрунтів важкими металами, найнебезпечніші з яких – Сg, Сu, Мn, Ni, Pb, Zn. Потрапляючи до ґрунту з газопиловими викидами внаслідок діяльності підприємств гірничо-металургійного комплексу міста, впливу великої кількості різноманітного залізничного й автомобільного транспорту, вони акумулюються в значних кількостях, перевищуючи гранично допустимі концентрації [7]. Тому роботи, спрямовані на екомоніторинг стану ґрунтів і гідросфери, залежних від впливу на них гірничо-металургійних підприємств Кривбасу, а також аналіз можливого використання науково-технічних рішень, що сприяють покращенню екологічного стану в регіоні, є актуальним завданням.

Дослідження проведено в межах виконання етапу «Аналіз стану забруднення повітря, води та ґрунтів, сучасні методи дослідження, шляхи покращення екологічної ситуації» НДР «Розроблення екологічно прийнятних технологій поводження з відходами гірничорудної та металургійної промисловості», номер Державної реєстрації 0120U101148.

Мета роботи – аналіз стану забруднення ґрунтів важкими металами в зонах впливу гірничо-металургійних підприємств Кривого Рогу та забруднення річки Інгулець за течією вище й нижче розташування міста. За результатами проведеного аналізу зробити висновки щодо екологічного стану ґрунтів і річки Інгулець унаслідок діяльності промислових

підприємств міста й надати рекомендації для використання сучасних технічних рішень, які спрямовані на зменшення їх забруднення.

Методологічне або загальнонаукове значення.

Методологія досліджень полягала у вивченні стану ґрунтів і гідросфери в зоні впливу промислових підприємств Кривбасу за останні 5 років потребує:

- виконати аналіз забруднення важкими металами і їх уміст у ґрунтах міста й річки Інгулець за останні 5 років;

- розробити рекомендації щодо шляхів зменшення забруднення й раціонального використання природних ресурсів.

Виклад основного матеріалу. Відповідно до спостережень за станом забруднення ґрунтів важкими металами отримана інформація щодо загального валового вмісту кадмію, мангану, міді, нікелю, цинку, свинцю поблизу джерел промислових викидів в атмосферу – підприємств гірничорудної, металургійної, машинобудівної, будівельної галузі, а також на територіях, призначених для визначення фонових природних рівнів. Відбір проб проводився фахівцями Криворізької ЛСЗА в 2014 та 2019 рр. відповідно до Програми спостереження за забрудненням навколишнього середовища гідрометеорологічних організацій Державної служби України з надзвичайних ситуацій (Наказ МВС України від 16.11.2018 № 931). Визначення складу токсикантів промислового походження в населених пунктах здійснюють один раз за 4–5 років залежно від одержаних результатів моніторингу. Отже, проведено аналіз 60 проб ґрунтів у різних точках міста у 2014 році та 65 проб у 2019 році.

На діаграмах рис. 1 наведено зведені показники забруднення ґрунтів важкими металами за 2014 та 2019 роки, які свідчать, що, окрім нікелю (максимальний уміст сягав у 2019 році 47 мг/кг, що нижче гранично допустимої концентрації (ГДК), усі інші забруднюючі речовини в цьому році були зменшені порівняно з 2014 роком. Але за деякими максимальний і середній уміст не відповідав установленим нормам ГДК. Так, загалом по місту середній уміст свинцю становив 18 мг/кг, мангану – 913 мг/кг, міді – 21 мг/кг, кадмію – 0,2 мг/кг, що є допустимими та помірними нормами для ґрунтів. Середній уміст цинку перевищував ГДК у 1,46 разів, максимальний уміст свинцю у 2,5 рази й сягав 74 мг/кг на схід від території Криворізького локомотивного депо, цинку – 2,2 ГДК біля управління Новокриворізького гірничозбагачувального комбінату ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», мангану – 1,66 ГДК на території Криворізького сурикового заводу. Уміст кадмію відповідав нормам ГДК. Отже, проведений аналіз даних спостережень за забрудненими ґрунтами свідчить, що його стан порівняно з 2014 роком покращився, але по цинку він незадовільний. Причому варто відзначити, що з проаналізованих 65 проб, відібраних у 2019 році на різноманітних ділянках і у райо-

нах міста, у 53 пробах концентрація забруднення по цинку перевищувала допустиму норму.

Крім дослідження забруднення ґрунтів міста, проведений аналіз стану гідросфери Кривбасу. Так, за останні п'ять років проаналізовано забруднення основної водної артерії Кривбасу – річки Інгулець за гідрохімічними показниками. Основними джерелами надходження забруднюючих сполук у річку в районі Кривого Рогу є скидання зворотних вод гірничорудними підприємствами Кривбасу, що створює потенційну загрозу для життя та здоров'я людей.

Моніторинг стану забруднення поверхневих вод Інгульця за гідрохімічними показниками на території Дніпропетровської області проводився гідрометеорологічними організаціями в пункті р. Інгулець м. Кривий Ріг у 2 створах: 1,0 км вище Кривого Рогу, 2,5 км вище впадіння р. Саксагань і 1,0 км нижче Кривого Рогу, 0,5 км нижче скидання стічних вод Південного гірничозбагачувального комбінату.

Відбір проб води в цих пунктах спостережень проводили щомісяця.

У пробах води за період спостереження з 2014 по 2019 роки визначався основний сольовий склад, забруднюючі мінеральні й органічні речовини та фізичні властивості води. Динаміка забруднень річки Інгулець біля Кривого Рогу за гідрохімічними показниками у період з 2014 по 2019 роки наведена на рис. 2.

За даними спостережень, кисневий режим річки упродовж 2014–2019 років характеризувався як задовільний. Середній уміст кисню перебував у межах 8,20–9,12 мгО₂/дм³. Дефіциту кисню у воді річки за роки спостережень не реєстрували. Водночас у річці спостерігається високий і природний уміст солей. На формування стоку розчинених солей у річці впливає антропогенний фактор, де істотну роль відіграє господарська діяльність гірничодобувного комплексу. Середня мінералізація річки в районі

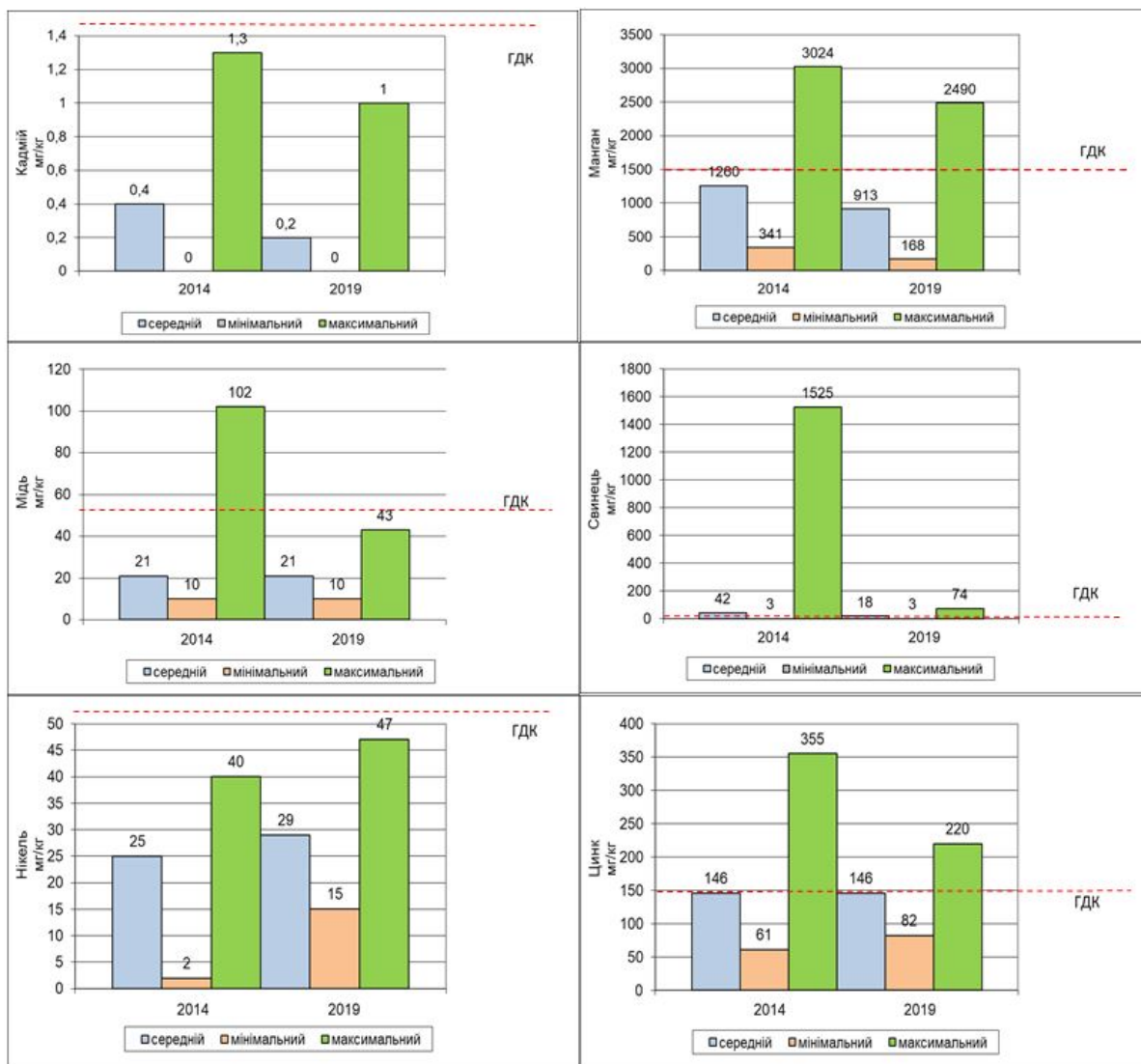
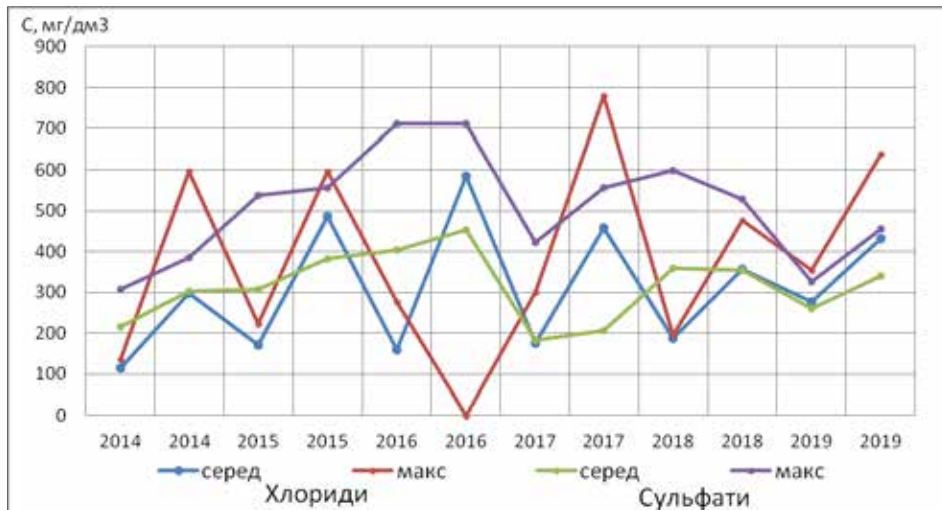
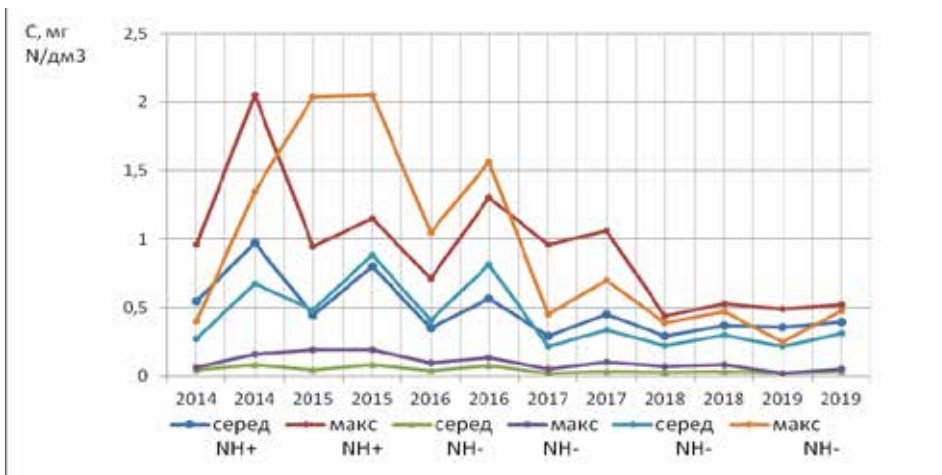


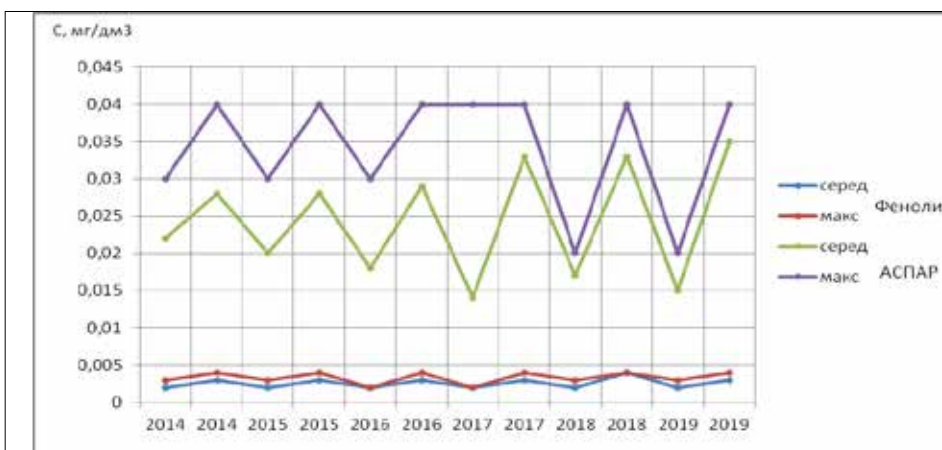
Рис. 1. Середні, мінімальні та максимальні рівні вмісту важких металів (мг/кг) у 2014 році та першому півріччі 2019 року



а)

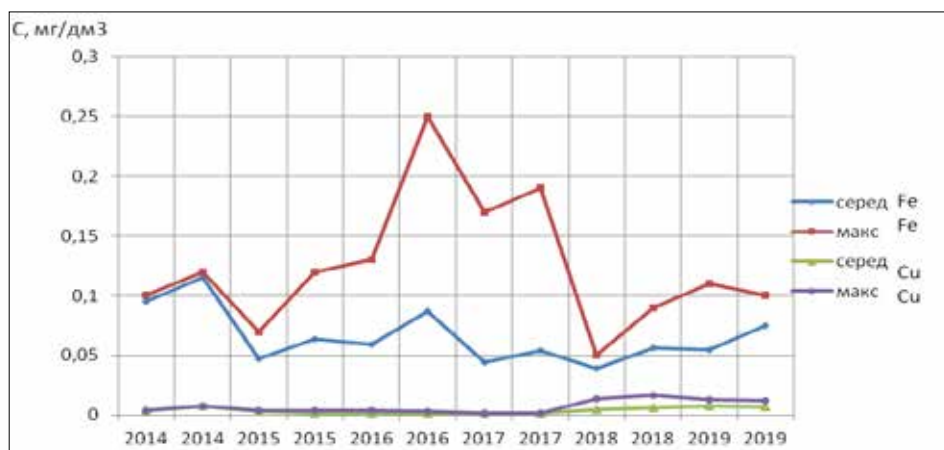


б)

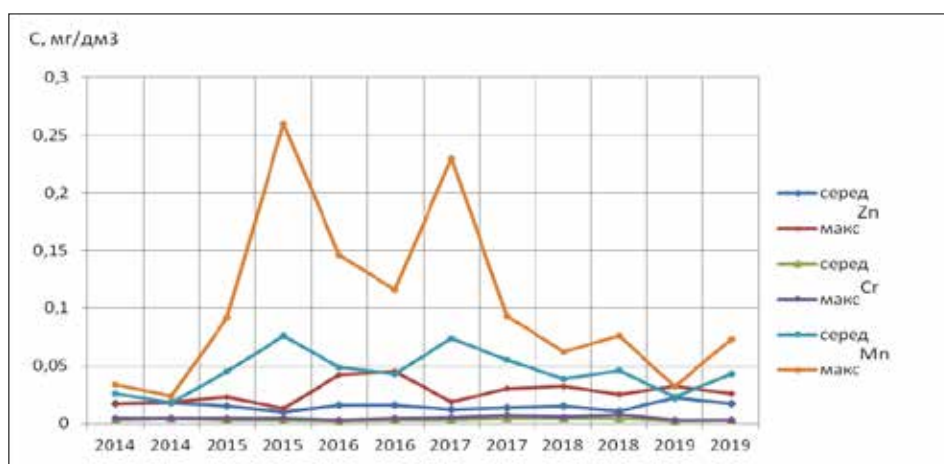


в)

Рис. 2. Забруднення р. Інгулець у районі м. Кривий Ріг за гідрохімічними показниками у 2014 році – I півріччя 2019 року: а) – концентрація хлоридів і сульфатів, мг/дм³; б) – концентрація азоту амонійного, нітритного та нітратного, мг N/дм³; в) – концентрація фенолів та АСПАР, мг/дм³; г) – концентрація Fe та Cu, мг/дм³; д) – концентрація Zn, Cr, Mn, мг/дм³



с)



д)

Продовження рис. 2.

міста сягала 595–1761 mgO_2/dm^3 , що перевищує ГДК за рахунок підвищеного вмісту хлоридів і сульфатів, а максимальна – 3000 mgO_2/dm^3 .

Упродовж досліджуваного періоду на ділянці річки Інгулець у районі міста Кривий Ріг середні значення амонійної форми азоту змінювалися від 0,292 kgN/dm^3 до 0,972 mgN/dm^3 , що відповідає 0,71–1,7 ГДК. Максимальний разовий уміст був у діапазоні від 0,44 mgN/dm^3 до 2,05 mgN/dm^3 (тобто 1,1–5,2 ГДК). Найбільш висока концентрація зафіксована у 2014 році в нижньому створі Кривого Рогу. Границі коливань нітратної форми азоту становили 1–4 ГДК (за середнім умістом) і 1,0–9,5 ГДК (за максимальним). Забруднення з максимальною концентрацією 0,190 mgN/dm^3 (9,5 ГДК) відмічено у створі 1,0 км нижче Кривого Рогу у 2015 році.

Води річки характеризуються значним забрудненням сполуками важких металів передусім сполуками мангану, міді, хрому шестивалентного, дещо менше сполуками цинку та заліза загального. Найбільш високий рівень забруднення спостерігався за сполуками мангану. Середні концентрації цього показника перевищували ГДК у 2–8 разів, а максимальні разові –

у 2–26 разів. У пункті спостережень за період 201–52017 роки відмічено 4 випадки забруднення води сполуками мангану на рівні високого забруднення (ВЗ) з концентраціями 0,260 mg/dm^3 ; 0,146; 0,116; 0,230 mg/dm^3 , що відповідає 26, 14,6; 11,6; 23 ГДК. Підвищений рівень забруднення води спостерігався й за сполуками міді. Середній уміст змінювався від 0,002 до 0,008 mg/dm^3 (2–8 ГДК). Тенденція до підвищення концентрацій сполук міді зафіксована у 2018 та 2019 роках. У цей період концентрації зросли до значень 0,012–0,017 mg/dm^3 (12–17 ГДК).

За даними забруднення води річки сполуками хрому шестивалентного можна відзначити деяку тенденцію до стабілізації вмісту цього інгредієнта. За цей період спостережень середні концентрації перевищили рівень ГДК у 2–4 рази, а максимальні – у 3–8 разів. Підвищені концентрації хрому шестивалентного в 6–8 разів зафіксовано у 2017–2018 роках.

Для індустріальних центрів, яким є Кривий Ріг, характерне забруднення водних об'єктів сполуками цинку. У районі міста вміст сполук цинку залишається досить стабільним. Середній уміст сягав 0,022 mg/dm^3 (2,2 ГДК), а у 2016 році разові строкові

Таблиця 1

Усереднені результати вимірювань загальних характеристик складу, властивостей і концентрації забруднених речовин у воді ставка-накопичувача балки «Свистунова»

№ з/п	Найменування показників (характеристик), одиниці вимірювання	Значення показників		ГДК мг/дм ³
		2019 рік	2020 рік	
1	Азот амонійний, мг/дм ³	1,6	0,28	1,0
2	Біохімічне споживання кисню (БСК), мгО ₂ /дм ³	3,87	2,7	3,0
3	Водневий показник, мг/дм ³	7,8	7,85	
4	Завислі речовини, мг/дм ³	2,95	18	
5	Залізо (загальне), мг/дм ³	0,063	0,085	0,1
6	Нафтопродукти, мг/дм ³	0,027	0,0375	0,1
7	Кисень розчинений, мг/дм ³	5,5	4,6	
8	Нітрати, мг/дм ³	4,25	4,2	
9	Нітрити, мг/дм ³	0,09	0,07	
10	Сульфати, мг/дм ³	1416	1410	500
11	Сухий залишок, мг/дм ³	44000	41830	
12	Феноли, мг/дм ³	0,001	0,001	0,001
13	Фосфати, мг/дм ³	0,033	0,028	0,063
14	Хлориди, мг/дм ³	20690	19198	350

дані в обох створах досягали 0,042–0,045 мг/дм³ (4,2–4,5 ГДК). Середні значення сполук заліза загального змінювалися від 0,039 мг/дм³ (0,39 ГДК) до 0,115 мг/дм³ (1,15 ГДК). Найбільша разова концентрація на рівні 2,5 ГДК зафіксована у 2016 році в нижньому створі міста. Уміст фенолів (середній і максимальний) у річці впродовж цього періоду утримувався практично на стабільному рівні – у діапазоні від 2 до 4 ГДК. Аніонні синтетичні поверхнево-активні речовини (АСПАР), які потрапили в поверхневі води річки, становили 0,014–0,040 мг/дм³, що є нижче допустимих нормативів.

Одним із найважливіших питань є дослідження якості води в балці «Свистунова» – ставку-накопичувачу підземних шахтних вод із дуже високою мінералізацією, що негативно впливає на гідросферу Криворізького басейну. Протягом останніх 7 років вода, яка накопичується в балці, щорічно скидається (з листопада по лютий) у річку Інгулець. Обсяг шахтної води, що скидається, у середньому сягає від 10 млн. м³ до 11 млн. м³ на рік. Усереднені результати вимірювань концентрації мінеральних речовин у ставку-накопичувачі балки «Свистунова» за 2019 рік – за перше півріччя 2020 року наведено в таблиці 1.

З аналізу результатів вимірювання загальних характеристик складу, властивостей і концентрації

забруднених речовин у воді ставка-накопичувача балки «Свистунова» видно, що за перше півріччя 2020 року порівняно з 2019 роком знизилася та ввійшли до нормативно-прийнятих значень показники по амонійному азоту, БСК (біохімічному споживанню кисню). Інші, крім сульфатів і хлоридів, у 2019 році та першому півріччі 2020 року були нижчими за ГДК. Сульфати та хлориди також знизилася в першому півріччі 2020 року порівняно з показниками 2019 року, але в рази перевищують допустимі концентрації.

Так, по сульфатах перевищення ГДК становило 2,82 раза, а по хлоридах 54,85 раза.

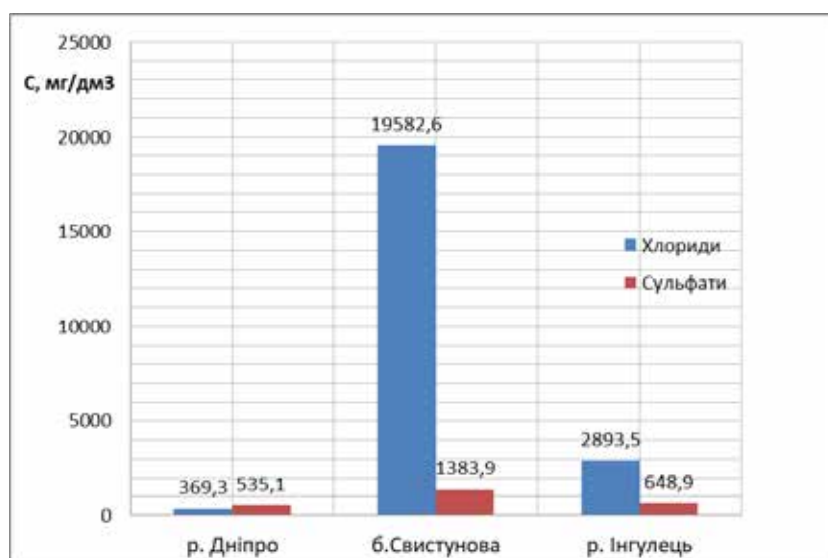


Рис. 3. Результати досліджень хімічного дослідження проб на вміст основних забруднюючих речовин, відібраних у річках Дніпро й Інгулець і в ставку-накопичувачу у 2020 році за період із 20.01.2020 по 31.01.2020

Для зниження впливу такої надмірної мінералізації шахтної води, яка скидається в річку Інгулець, її обсяг частково розбавляється від 44 до 45 млн. м³ водою з Карачунівського водосховища, розташованого вгору за течією від точки скидання. Для заповнення цього обсягу вода транспортується через канал Дніпро-Інгулець із Кременчуцького водосховища в Карачунівське, яке розташоване в басейні річки Інгулець.

Для зниження мінералізації шахтних вод, які скидають у річку Інгулець, беруть близько 60 млн. м³ води з каналу Дніпро-Інгулець.

На діаграмі (рис. 3) наведено результати досліджень проб на вміст основних забруднюючих речовин, відібраних у річках Дніпро й Інгулець нижче точки скидання шахтних вод і в ставку-накопичувачу за період із 20.01.2020 по 31.01.2020.

Як свідчать наведені дані на рис. 3, частка сульфатів і хлоридів після їх скидання в річку значно зменшилася (хлоридів у 6,7 раза, сульфатів у 2,1 раза), але вони значно перевищують установлені ГДК. Це викликає дуже серйозні негативні наслідки, які стосуються не тільки міста Кривий Ріг, а й Херсонської та Миколаївської областей:

- у селах і селищах, прилеглих до Інгульця в Дніпропетровській, Херсонській, Миколаївській областях, підвищилася солоність води в місцевих джерелах водопостачання (значно вище допустимих нормативів 1 г/л);

- солоні вода потрапляє в зрошувальні системи Миколаївської та Херсонської областей, що призводить до засолення десятків тисяч гектарів цінних агропробудованих земель.

Скидання високомінералізованих шахтних вод у річку Інгулець призводить до величезних економічних збитків у всіх трьох областях за рахунок недоотриманого врожаю, безповоротних утрат

тисяч гектарів осолонцьованих і засолених земель, необхідності додаткового водопостачання прісною водою сіл і селищ.

Точну оцінку щорічного економічного й екологічного збитків ніколи не проводили, але, за експертною оцінкою фахівців, вони становлять десятки мільярдів гривень щорічно. Тому є гостра потреба швидко знайти науково обґрунтовані технічні рішення, які б сприяли зменшенню забруднення водою Кривбасу та прилеглих областей.

До заходів, що мають забезпечити нормальний стан річки Інгулець, можна зарахувати такі:

- перегляд чинних критеріїв якості води щодо придатності її в різних технологічних процесах;

- нормування якості води за критеріями придатності для різноманітних видів її використання;

- скорочення скидань забруднюючих речовин шляхом упровадження технологічних процесів демінералізації шахтних вод безпосередньо на гірничих підприємствах міста;

- застосування раціональних засобів з очищення стічних вод;

- упровадження якісної системи моніторингу параметрів, які б характеризували стан геологічного середовища й техногенного навантаження і вплив один на одного.

Головні висновки. Аналіз стану ґрунтів і гідросфери Криворізького регіону свідчить про незадовільний їх стан. Установлено, що діяльність промислового комплексу міста значно впливає на кількість і показники техногенних факторів, які, у свою чергу, негативно впливають на якість ґрунтів і гідросферу. Для уникнення техногенної катастрофи та покращення стану ґрунтів і гідросфери необхідно очищення шахтних вод включати до загального технологічного циклу підприємств, що дасть можливість раціонально використовувати природні ресурси.

Література

1. Левченко Е.С. Опреснение карьерных и рудничных вод в условиях Кривбасса. *Геотехнічна механіка*. 2017. № 132. С. 220–228.
2. URL: <http://geonews.com.ua/news/detail/kuda-tekut-solenye-reki-krivbassa-14362>.
3. Пигулевский П.И., Тяпкин О.К., Свистун В.К. Применение геофизических методов для решения гидрогеоэкологических задач на территории Южного Кривбасса. *Геофизический журнал*. 2018. Вып. 40. № 3. С. 165–178.
4. Пляцук Л.Д., Бурла О.А. Вплив техногенних об'єктів на гідросферу як фактор екологічного ризику. *Екологічна безпека*. 2008. № 2. С. 40–43.
5. Багрій І.Д., Блінов П.В., Пишина Н.Г. Оптимізація системи об'єктивного моніторингу підземних вод території ГЗК Криворізького залізорудного басейну. *Інформаційний бюлетень про стан геологічного середовища України (1999–2020 рр.)*. Київ : Укр. ДТPI, 2002. № 18. С. 22–42.
6. Плотніков О.В. Зміни екологічного стану гідросфери півдня криворізького басейну. *Пошукова та екологічна геохімія*. 2014. № 1–2. С. 19–26.
7. Флоря Л. В. Оцінка рівня забруднення ґрунтів важкими металами та їх вплив на урожайність сільськогосподарських культур у Північно-Західному Причорномор'ї. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2012. № 13. С. 131–141.