

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ШАХТНОЇ ВОДИ КРИВОРІЗЬКОГО ЗАЛІЗОРУДНОГО БАСЕЙНУ

Салій І.В.<sup>2</sup>, Кияшко В.Т.<sup>2</sup>, Орехова О.В.<sup>1</sup>, Павленко О.І.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Державна установа «Український науково-дослідний інститут промислової медицини»  
вул. Виноградова, 40, 50096, м. Кривий Ріг

<sup>2</sup>Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління  
вул. Митрополита Василя Липківського, 35, 03035, м. Київ  
[orehovaoksana@ukr.net](mailto:orehovaoksana@ukr.net), [igor.salii@gmail.com](mailto:igor.salii@gmail.com)

За підсумками здійснених експериментальних досліджень науковцями окреслено хімічний склад шахтної води Криворізького залізорудного басейну. Зазначено, що концентрації речовин у шахтній воді перевищують гранично допустимі рівні в загальній мінералізації, завислих речовинах, за вмістом хлоридів сульфатів та заліза. Так, на верхніх горизонтах (з 475 м до 865 м) склад шахтної води за рівнем сухого залишку, хлоридів та сульфатів знаходиться приблизно на одному рівні, а нижче горизонту (955 м і глибше) значення показників значно зростають. Вміст сульфатів знаходиться в межах нормативних значень від горизонту 475 м до горизонту 700 м і становив від 290,150±236,150 до 494,375±26,180 мг/дм<sup>3</sup>. Шахтна вода за вмістом хлоридів від горизонту 475 м до горизонту 865 м, а також сульфатів до горизонту 775 м не перевищує аналогічні показники у річці Інгулець. Отже, використання запропонованого методу розділення шахтної води з окремих горизонтів дозволить здійснювати відповідне відведення води з верхніх горизонтів (до 775 м включно) безпосередньо у природні водойми. Під час підрахунку водопрпливів за відповідними окремими горизонтами з'ясовано, що шахтна вода з горизонтів 475 м до 865 м становить 30–40 відсотків всієї шахтної води.

Підкреслено, що одержані дані щодо хімічного складу шахтної води необхідно використовувати з метою постійного моніторингу її складу та якості, що дасть змогу контролювати ефективність роботи схеми змін водовідливу, запропонованої авторами наукової праці, для належного повторного використання шахтної води. Хімічний склад шахтної води з більш глибоких шахтних горизонтів вимагає пошуку ефективніших засобів з очищення та демінералізації шахтної води. *Ключові слова:* шахтна вода, залізорудний басейн, хімічний склад шахтної води, очищення, хімічний склад, демінералізація,

**Experimental studies of the chemical composition of mine water of the Kryvyi Rih iron ore basin. Saliy I., Kyiashko V., Oriekhova O., Pavlenko O.,**

Experimental studies have been conducted to study the chemical composition of mine water in the Kryvyi Rih iron ore basin. Concentrations of substances in mine water exceed the maximum permissible levels for total mineralization, suspended substances, chlorides, sulfates and iron content. At the upper horizons (from the 475 m horizon to the 865 m horizon), the composition of mine water in terms of dry residue, chlorides, and sulfates is approximately at the same level, and after the 955 m horizon and deeper, the value of these indicators increases sharply. The content of sulfates is within the normative values from the horizon of 475 m to the horizon of 700 m and was from 290,150±236,150 to 494,375±26,180 mg/dm<sup>3</sup>. The chloride level of the mine water from the 475 m horizon to the 865 m horizon does not exceed the similar indicators in the Ingulets River, and the sulfate content indicator up to the 775 m horizon does not exceed the similar values along the Ingulets River. Thus, when using our proposed method of separating mine water from individual horizons, it will be possible to separate water from the upper horizons (up to 775 m inclusive) directly into natural reservoirs. When calculating water tides for individual horizons, it was established that mine water from horizons 475 m to 865 m makes up 30–40 % of all mine water.

The obtained data on the chemical composition of mine water must be used for constant monitoring of the composition and quality of mine water, which will make it possible to control the effectiveness of the scheme of changes in the water discharge proposed by us for the effective reuse of mine water. The chemical composition of mine water from deeper mine horizons requires the search for effective means of cleaning and demineralization of mine water. *Key words:* mine water, iron ore pool, chemical composition of mine water, purification, demineralization.

**Постановка проблеми.** Екологічні ризики та значні економічні витрати на відведення, зберігання та скид надлишкової шахтної води, що утворюється в процесі підземного видобування корисних копалин, вимагають пошуку ефективних технічних та економічних рішень для можливості повторного використання шахтної води та зниження екологічних ризиків для довкілля та населення гірничодобувного регіону.

**Актуальність досліджень.** Переважна частина шахтних вод має високу мінералізацію й забруднена

іншими шкідливими домішками, що не дозволяють скидати їх у поверхневі водойми без глибокого очищення. Існуючі установки очищення не забезпечують комплексного розв'язання проблеми скиду таких вод, оскільки очищення супроводжується утворенням значної кількості відходів. Тому пошук нових енерго-ефективних та економічно вигідних технологій очищення шахтної води на сьогодні є досить актуальним.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.**

Дослідження виконані в рамках НДР «Проведення наукових досліджень та пошук комплексних екологічно прийнятних рішень щодо систем послідовного та повторного використання води, в тому числі води, що надходить від інших підприємств» за номером Державної реєстрації 0120U103938.

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій.**

Аналіз інформації щодо стану поверхневих та підземних вод України [1, 2, 3, 4], а також щодо існуючих технологій очищення шахтних вод свідчить, що на теперішній час переважна частина шахтних вод, яку скидають у поверхневі водойми, на думку авторів, не відповідає вимогам гігієнічних нормативів, а існуючі методи очищення не забезпечують належного очищення, є досить енергозатратними та дороговартісними [5]. Необхідність пошуку інноваційних методів демінералізації, очищення й опріснення шахтних вод для забезпечення належного екологічного стану водних об'єктів (річок, водойм і підземних вод) гірничовидобувних регіонів України нині досить актуальна [5–8].

На сьогодні наявність достатньої кількості прісної води є одним з найважливіших факторів економічного та культурного розвитку регіонів країни. До районів з напруженим водним балансом відносяться гірничо-видобувні регіони України в басейнах річок Дніпро та Інгулець на території Дніпропетровської області. В Україні в цілому, зокрема, й у м. Кривий Ріг, спостерігається дефіцит запасів прісної води поверхневих водойм та підземних вод для задоволення потреб промисловості, сільського господарства і населення в високоякісній воді. Але скид великої кількості шахтних, кар'єрних і меліоративних вод, а також відкачування забруднених підземних вод призводить до значного забруднення річкової води, що досить часто унеможлиблює їх використання для водоспоживання. У той же час зростає водоспоживання зумовлює підвищення вимог до якості води вододжерел, якими є малі та великі річки. З огляду на це, актуальною є потреба проведення наукових досліджень з метою розробки інноваційних технологій очищення високо мінералізованих шахтних та кар'єрних вод, умов їх відведення [8].

**Виділення нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Незважаючи на проведені раніше дослідження хімічного складу шахтної води, що є потенційними забруднювачем поверхневих водойм та чинником підвищення ризику розвитку захворювань населення, на сьогодні показники хімічного складу значно перевищують допустимі нормативи для природних водойм. Це потребує розробки ефективних та економічно прийнятних заходів з поводження з шахтною водою, та пошуку ефективних сучасних технологій її очистки.

Щорічно діючі гірничорудні підприємства Кривбасу та ті, що працюють у режимі гідрозахисту, відкачують до 40 млн.м<sup>3</sup> підземних вод (шахтні, кар'єрні), серед яких 16–17 млн.м<sup>3</sup> високо мінералізовані шахтні води [9].

Максимальні можливості з використання підземних вод у зворотних циклах гірничорудних підприємств Кривбасу межують на рівні 28–30 млн.м<sup>3</sup> на рік. Решта 11–12 млн.м<sup>3</sup> надлишків зворотних вод щорічно акумулюється і тимчасово утримується у ставку-накопичувачу шахтних вод. Ємність ставка-накопичувача не дозволяє прийняти та з акумулювати весь обсяг надлишків зворотних вод, що призводить до переповнення цієї гідротехнічної споруди, порушує правила її експлуатації та безпеки, а також спричиняє аварійний стан споруди.

У разі зупинки відкачування шахтних вод у Кривбасі створюються умови для виникнення низки некерованих техногенних катастроф, пов'язаних із зупинкою та затопленням діючих шахт, відпрацьованого підземного простору (підземних порожнин від вилучення залізородної сировини), зсувом порушених порід та земної поверхні, регіональним підняттям рівня високо мінералізованих підземних вод, забрудненням верхніх водоносних горизонтів та поверхневих водоймищ. Виникнення такої надзвичайної ситуації призведе до порушення екологічної рівноваги на значній території регіону та спричинить загрозу різним важливим сферам господарської діяльності та суспільного життя не лише у Кривбасі, але і за його межами.

За таких обставин, за відсутності реальної альтернативи повного використання шахтних вод Кривбасу у зворотних циклах гірничорудних підприємств, чи іншого безпечного способу їх утилізації, виникає необхідність у щорічному вживанні заходів зі скиду надлишків зворотних вод у річку Інгулець та недопущення виникнення низки надзвичайних ситуацій та техногенних катастроф у Кривбасі, пов'язаних з відкачуванням і використанням значної кількості підземних вод та їх тимчасовою акумуляцією [10].

**Новизна.** Проведено експериментальні дослідження з визначення складу шахтної води на окремих горизонтах шахтних виробок та запропоновано нові технічні рішення для повторного використання шахтної води.

**Методологічне або загальнонаукове значення.** Відбір проб шахтної води та експериментальні і аналітичні дослідження хімічного складу шахтної води були проведені на підприємстві з підземним способом видобування залізної руди. Було здійснено водозабір у 20 точках основних шахтних горизонтів шахти: на горизонтах 475 м, 550 м, 625 м, 700 м, 775 м, 865 м, 955 м, 1033 м, 1045 м, 1065 м, 1135 м. та у старому руслі річки Саксагань. Також були відібрані проби загальношахтної води на виході з шахти.

Лабораторні дослідження проводили за такими показниками: розчинний кисень, водневий показник, біохімічне споживання кисню за 5 діб, хімічне споживання кисню, азот амонійний, нітрити, нітрати, фосфати, феноли, залізо загальне, завислі речовини, нафтопродукти, хлориди, сульфати, сухий залишок). Також вивчені 43 протоколи аналогічних досліджень за 2018–2023 рр. Оцінку проводили у відповідності до Наказу МОЗ України від 02.05.2022

№ 721 «Гігієнічні нормативи якості води водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення» (далі – Наказ) [11], проаналізовані 48 протоколів лабораторних досліджень відомчих лабораторій підприємства за 2000–2023 роки.

**Викладення основного матеріалу.** Об'єм шахтних вод, що надходять у гірничі виробки, залежить від багатьох факторів і становить від менше 100 до понад 1000 м<sup>3</sup>/год. Зневоднення шахт із погляду водоохоронних заходів має певне значення під час вибору тієї чи іншої технології очищення шахтних вод. Склад та властивості шахтних вод залежать від багатьох факторів. Головні із них – це склад та властивості гірських порід, гірничо-геологічні і гірничо-технічні умови, засоби механізації під час видобування корисних копалин та проходці підготовчих виробок, допоміжні – клімат, рельєф місцевості, рослинність тощо.

Шахтні води відрізняються великою різноманітністю хімічного складу, непридатні для пиття і мають властивості, що не сприяють їх використанню в технічних цілях без попередньої обробки. Температура води, залежно від географічного розташування шахт та глибини шахтних горизонтів, коливається у межах 10–16°C.

За результатами лабораторних досліджень науковці – автори праці – означили показники хімічного складу шахтної води (таблиця 1): вміст розчинного кисню, водневий показник, азот амонійний, нітрити, нітрати, фосфати, феноли, нафтопродукти знаходяться у межах допустимих нормативів та у разі повторного використання шахтної води не завдаватимуть негативного впливу на природні водойми, навколишнє середовище та здоров'я населення.

Загальна мінералізація була на рівні 15089±1453 мг/м<sup>3</sup>, що у 13,6–16,5 разів перевищує нормативні рівні та відноситься до розсолів (> 50 г/дм<sup>3</sup>). За аналізом мінерального складу вода характеризується як хлоридно-сульфатна.

Зазначено, що досліджувана вода у своєму складі містить значну кількість хлоридів – 7283,49±745,59 мг/дм<sup>3</sup>, що у 18,68–22,94 разів перевищує гранично допустимі нормативи. Рівень сульфатів у шахтній воді становить 778,87±28,24 мг/дм<sup>3</sup>, що у 1,5–1,6 раза перевищує гранично допустимі нормативи. Такі значення впливають на смак, запах та колір води, призводять до корозії металів та негативно впливають на водні джерела.

Концентрація завислих речовин становить 109,16±8,13 мг/дм<sup>3</sup>, що у 134–156 разів, що може значно впливати на глибину проникнення сонячного світла, погіршувати життєдіяльність гідробіонтів, призводити до замулювання водних об'єктів, зумовлюючи їх екологічне старіння.

Вміст заліза у воді становить 0,98±0,08 мг/дм<sup>3</sup>, що перевищує допустимі нормативи у 3,0–3,5 разів. Це призводить до зміни смаку та підвищення агресивності води до металів.

Ступінь забруднення шахтних вод органічними речовинами оцінюється наступними показниками: БСК<sub>5</sub>, який становить 7,42±0,14 мг О<sub>2</sub> на л, що у 2,52–2,42 вище за норму і може зумовити зниження вмісту розчиненого кисню, створити гіпоксичні умови та загибель окремих видів гідробіонтів. Хімічне споживання кисню у 7,75–6,57 разів перевищує нормативні значення і становить 214,95±17,80 мг/дм<sup>3</sup>, що може призводити до зниження вмісту кисню у природних водоймах та створювати непридатні умови для життя живих організмів.

Для більш детального аналізу та впровадження технічних рішень щодо повторного використання шахтної води науковці здійснили дослідження шахтної води на різних горизонтах (таблиця 2), де означено склад шахтної води, який порівняли з нормативними рівнями для води природних водойм та зі складом води річки Інгулець.

Дані спостережень за шахтними водами протягом 5 років засвідчують, що концентрації сульфатів

Таблиця 1

## Хімічний склад шахтної води M±m (p&lt;0,05)

№ з/п	Показники якості води	Загальношахтна вода (водозбірник на горизонті 475 м) мг/дм <sup>3</sup> , n=63	Нормативні рівні згідно з Наказом МОЗ України № 721 від 02.05.2022 р.
1	Розчинений кисень, мг/дм <sup>3</sup>	7,68±0,04	≥ 4
2	Водневий показник (рН), од.рН	7,74±0,17	6,50-8,50
3	БСК <sub>5</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	8,10±0,18*	3,00
4	ХСК, мг/дм <sup>3</sup>	318,95±12,09*	30,00
5	Азот амонійний, мг/дм <sup>3</sup>	0,89±0,07	2,00
6	Нітрити, мг/дм <sup>3</sup>	0,32±0,02	3,30
7	Нітрати, мг/дм <sup>3</sup>	9,70±0,24	45,00
8	Залізо загальне, мг/дм <sup>3</sup>	1,41±0,08*	0,30
9	Завислі речовини, мг/дм <sup>3</sup>	111,29±5,61*	0,75
10	Нафтопродукти, мг/дм <sup>3</sup>	0,40±0,01	0,30
11	Хлориди, мг/дм <sup>3</sup>	11983,70±858,26*	350,00
12	Сульфати, мг/дм <sup>3</sup>	936,84±24,14*	500,00
13	Сухий залишок, мг/дм <sup>3</sup>	24172,57±1473,50*	1000,00

\* – перевищують гранично-допустимі нормативи

Таблиця 2

## Хімічний склад шахтної води на окремих горизонтах за 2018–2023 рр. М±m (p&lt;0,05)

№ з/п	Місце відбору проб	Водневий показник (од. рН)	Лужність загальна ммоль/дм <sup>3</sup>	Жорсткість загальна ммоль/дм <sup>3</sup>	Кальцій	Хлориди	Сульфати	Сухий залишок
1	р.Саксагань (старе русло)	7,605±0,115	4,250±0,250	18,750±6,750	123,245±47,095	1524,675±709,965	459,230±167,480	4163,500±1047,500
2	Гор. 475 м	9,050±0,680	7,510±2,490	19,380±0,005	342,840±341,160	447,300±359,300	290,150±236,150	1975,150±377,150
3	Гор.550 м ВП-24 Руд. двір ствола (канавка)	7,933±0,090	5,733±1,634	15,100±0,900	134,797±37,642	541,273±287,556	377,520±149,184	2251,333±669,522
4	Гор. 625м ВП-25 Квершлаг ствола (канавка)	8,613±0,421	5,537±1,568	20,627±4,769	72,857±33,497	1473,710±332,074	498,600±48,605	3278,767±69,275
5	Гор. 700м ВП-26 Квершлаг ствола (канавка)	8,693±0,613	4,943±0,123	16,077±2,148	73,030±38,174	854,230±37,820	494,375±26,180	2563,567±204,476
6	Гор. 775м ВП-27 Квершлаг ствола (канавка)	7,957±0,092	5,100±1,450	27,000±1,000	363,707±83,948	1204,797±578,147	646,120±234,730	4208,667±1158,096
7	Гор. 865м ВП-22 Госп. квершлаг (канавка)	8,523±0,659	4,203±0,286	24,127±1,574	154,077±76,602	1356,010±66,684	763,890±58,605	4041,000±362,726
8	Гор. 955м ВП-3 возле ствола Руд. двір ствола (канавка)	8,000±0,651	3,397±0,231	88,550±30,971	331,197±194,985	17295,977±7791,736	1114,347±151,297	32922,667±14077,046
9	Гор. 1033м (вода шахтна)	9,270±0,002	2,400±0,005	132,650±0,002	19,900±0,002	30241,400±0,005	1585,500±0,001	59119,700±0,003
10	Гор.1045м Вангажний квершлаг СП-60 (канавка)	7,833±0,138	5,467±1,267	56,500±10,500	696,560±282,968	7501,193±3894,527	1406,463±378,342	18558,333±6477,735
11	Гор.1045м ВП-20 к стволу (канавка)	7,915±0,195	4,000±0,200	47,000±3,000	330,660±50,100	9667,670±607,340	927,3150±47,115	19400,000±1420,000
12	Гор.1045м ш. Дренажна (канавка)	7,785±0,185	4,350±0,050	51,000±3,000	365,730±50,100	22856,995±139,885	1047,160±26,640	25566,500±863,500
13	Гор.1045м ВП-19 св. на 1135 м (свердловина)	7,625±0,085	3,500±0,400	90,500±39,500	669,335±272,545	23851,470±12855,410	1118,460±120,160	48945,000±26788,000
14	Гор.1045м ш. Східна (ствол)	7,515±0,155	3,450±0,250	16,900±1,100	120,240±10,020	786,685±341,385	724,240±51,440	3128,000±620,000
15	Гор. 1045м ш. Кірова-Кігльова (ствол)	7,920±0,420	2,900±0,300	35,800±17,200	280,560±100,200	6173,020±4928,570	893,985±73,455	13402,500±9234,500
16	Гор.1045м ш. Східна (ствол)	7,515±0,155	3,450±0,250	16,900±1,100	120,240±10,020	786,685±341,385	724,240±51,440	3128,000±620,000
17	Гор.1065м. бл. 239 венг.орг. (свердловина)	7,650±0,190	4,400±0,100	52,000±4,000	346,690±16,030	10452,150±1186,620	988,425±27,985	22956,500±3523,500
18	Гор. 1135м (ствол)	7,620±0,300	3,350±0,450	24,000±2,000	190,380±50,100	1735,605±30,975	804,280±146,700	4923,500±743,500
19	Гор. 1135м (канавка гараж ВШП)	7,665±0,085	3,450±0,250	88,500±5,500	651,300±80,160	22291,775±4206,925	1185,120±95,670	44945,000±9275,000
20	Гор. 1135 Руд. двір ствола (канавка)	7,680±0,160	3,600±0,300	71,000±9,000	501,000±80,160	14562,155±2923,385	1046,445±103,695	27951,500±7171,500
21	Гор. 1135 (канавка шахтного поля)	7,810±0,0702	3,300±0,300	92,500±32,500	611,220±140,280	19560,705±6581,755	1147,055±86,415	39710,000±13423,000
22.	Гор. 1135м бл. 223 (канавка)	7,545±0,245	2,750±0,150	127,000±1,000	756,510±45,090	27120,915±2244,585	1221,125±20,575	53176,500±2996,500

Таблиця 3

Уміст хімічних речовин у р. Інгулець за 2000–2022 рр. (пост р. Інгулець, 265 км, с. Андріївка) ( $p < 0,05$ )

№ п/п	Показники	Роки		
		2020	2021	2022
1	Амоній-іони, мг/дм <sup>3</sup>	0,313±0,015	0,313±0,040	0,285±0,085
2	Біохімічне споживання кисню за 5 діб, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	2,834±0,159	3,110±0,225	2,205±0,195
3	Завислі (суспендовані) речовини, мг/дм <sup>3</sup>	6,942±0,447	7,217±0,578	5,000±0,002
4	Кисень розчинений, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	9,221±0,356	9,723±0,262	9,535±0,245
5	Нітрат-іони, мг/дм <sup>3</sup>	3,734±1,227	3,692±1,548	4,125±0,725
6	Нітрит-іони, мг/дм <sup>3</sup>	0,081±0,013	0,168±0,057	0,070±0,030
7	Сульфат-іони, мг/дм <sup>3</sup>	753,325±69,720	628,024±55,834	660,860±12,340
8	Фосфат-іони (поліфосфати), мг/дм <sup>3</sup>	0,131±0,011	0,126±0,022	0,305±0,125
9	Хлорид-іони, мг/дм <sup>3</sup>	1262,542±213,525	1288,126±331,230	2658,975±283,625

і хлоридів у водовідливних водах на різних точках відбору значно різняться. Так, показники концентрації сульфатів відрізняються в 3 рази, а хлоридів – у 80 разів на різних горизонтах від свердловини до русла ріки Саксагань. При середньому значенні концентрації сульфатів 778,87±28,24 мг/дм<sup>3</sup>, 95 % інтервал невизначеності становить 549–1101 мг/дм<sup>3</sup>. При середньому значенні концентрації хлоридів 7283,49±745,59 мг/дм<sup>3</sup> 95 % інтервал невизначеності становить 6496–30664 мг/дм<sup>3</sup>. І навіть у одній точці відбору, горизонт 475 метрів, таке розсіювання результату становить для сульфатів (936±28 мг/дм<sup>3</sup>) 20 %, а 95 % інтервал невизначеності – 880–992 мг/дм<sup>3</sup>. Для хлоридів (11147±791 мг/дм<sup>3</sup>) – 5 %, а 95 % інтервал невизначеності – 9564–12728 мг/дм<sup>3</sup>. На цю невизначеність накладаються коливання за місяцями та роками.

Під час дослідження шахтної води на окремих горизонтах було встановлено, що склад води на різних горизонтах істотно відрізняється (рисунк 1).

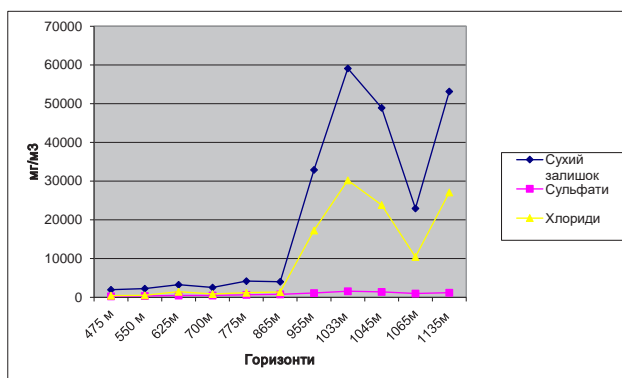


Рис. 1. Середня концентрація (мг/дм<sup>3</sup>) сухого залишку, сульфатів та хлоридів на окремих горизонтах з 2018 по 2023 рр.

Так, з горизонту 475 м до горизонту 865 м рівень сухого залишку, хлоридів та сульфатів знаходився приблизно на одному рівні, а після горизонту 955 м і глибше – значення показників стрімко збільшувалося, практично у всіх пробах води вони перевищували нормативні рівні. Уміст сульфатів знаходиться у межах нормативних значень з горизонту 475 м до горизонту 700 м і становила від 290,150±236,150 до 494,375±26,180 мг/дм<sup>3</sup>. Автори дослідження зробили порівняльний аналіз фактичних значень показників шахтної води з водою природних водойм, зокрема даних з поста річки Інгулець, 265 км, с. Андріївка (таблиця 3).

Так, якщо означити прийняття води у річці Інгулець за умовну норму, тобто фоновий рівень, шахтна вода за рівнем хлоридів з горизонту 475 м до горизонту 865 м не перевищує відповідні значення у річці Інгулець, а за показником вмісту сульфатів до горизонту 775 м не перевищує аналогічні значення у річці Інгулець. Отже, у разі розділення шахтної води по окремо визначених горизонтах, це дозволить здійснювати виокремлене відведення води з верхніх горизонтів (до 775 м включно) безпосередньо у природні водойми. Під час підрахунку кількості водоприливів у окремо означених горизонтах з'ясовано, що шахтна вода з горизонтів 475 м до 775 м становить 30–40 % всієї шахтної води.

**Висновки.** Концентрації речовин у шахтній воді по загальній мінералізації, завислих речовинах, вмістом хлоридів сульфатів та заліза перевищують гранично допустимі рівні. На верхніх горизонтах (з 475 м до 865 м) склад шахтної води за рівнем сухого залишку, хлоридів та сульфатів знаходиться приблизно на одному рівні, а після горизонту 955 м і глибше, – значення таких показників істотно збільшується. Уміст сульфатів знаходиться

у межах нормативних значень з горизонту 475 м до горизонту 700 м і становила від 290,150±236,150 до 494,375±26,180 мг/дм<sup>3</sup>. Шахтна вода за рівнем хлоридів з горизонту 475 м до горизонту 865 м не перевищує аналогічних показників у річці Інгулець, а за показником вмісту сульфатів до горизонту 775 м не перевищує аналогічні значення в річці Інгулець. Отже, використання запропонованого авторами методу розділення шахтної води з окремих горизонтів, дозволить здійснювати відведення води з верхніх горизонтів (до 775 м) безпосередньо у природні водойми. Під час підрахунку кількості водо при-

пливів у різних окремих горизонтах з'ясовано, що шахтна вода з горизонтів 475 м до 865 м становить 30–40 % всієї шахтної води.

**Перспективи використання результатів дослідження.** Одержані дані з хімічного складу шахтної води варто використовувати з метою постійного моніторингу складу та якості шахтної води, що дозволить контролювати ефективність роботи схеми змін водовідливу, запропонованої авторами, під час повторного використання шахтної води. На часі пошук ефективних засобів з очищення та демінералізації шахтної води з глибших шахтних горизонтів.

### Література

1. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища України у 2016 році URL: <https://menr.gov.ua/news/31445.html> (дата звернення: 27.09.2023).
2. Стан підземних вод України. Щорічник. ДНВП «Геоінформ України». Київ, 2017.
3. Козленко Є. В., Морозов О. В., Морозов В. В. Сучасні проблеми формування якості води Інгулецької зрошувальної системи в разі застосування промивки річки Інгулець упродовж квітня – серпня та шляхи їх вирішення. *Аграрні інновації*. 2021. № 7. С. 53–59.
4. Вилкул Ю. Г., Ступник Н. И., Бровко Д. В., Кириченко П. С. Пути снижения техногенного влияния шахтных и карьерных вод на пресноводные объекты Кривбаса: матеріали міжнар. наук.-практ. конф., 5–8 жовтня 2016 р. Дніпро, 2016. Т. 2. С. 138–144.
5. Dotsenko O. O., Voronova E. M. Impacts of shale gas and shale oil extraction on the environment and on human health. *Integration processes and innovative technologies: Achievements and prospects of engineering sciences (in foreign languages): materials of the international scientific-practical conference*, Kharkov, april 11–12, 2014. Kharkov: KNRU, 2014.
6. Екологія шахтарських регіонів України: монографія. Куліш В. А. та ін. Київ, Дніпро: УкрНДІПРОЕКТ, 2017. 411 с.
7. Моніторинг мінерально-сировинної бази України та екологічного стану територій її гірничодобувних регіонів у контексті забезпечення їх сталого розвитку. С.О. Довгий та ін. Київ: Ніка-Центр, 2019. 148 с.
8. Доценко О. О., Маркіна Н. К., Бабаєв М. В., Михайленко В. Г. Екологічне обґрунтування застосування інноваційних технологій очищення шахтних вод як шлях захисту річкових вод. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення: матеріали XIV міжнар. наук.-практ. конф.*, м. Харків, 10-14 вересня 2018 р. Харків: УКРНДІЕП, 2018. С. 25–31.
9. Артем Чайка, Докт. Міхаель Екарт, Ульріх Хоххаймер. Оптимізація скидання та утилізація надлишку шахтних вод [Електронний ресурс]. 2017. GIZ, Україна. звіт № 20669066/1. 186 с. URL: <http://zsfoe.org/wp-content/uploads/2017/07/2-7-17-Master-UA.pdf> (дата звернення: 21.09.2023)
10. Регламент скиду надлишків зворотних вод гірничорудних підприємств Кривбасу у 2016–2017 рр. Єрлінеков С. М. та ін. Київ. 2016. 93 с.
11. Наказ МОЗ України від 02.05.2022 № 721, зареєстрований в Міністерстві юстиції України 16.05.2022 за № 524/37860 Про затвердження Гігієнічних нормативів якості води водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення.