

УПОРЯДКУВАННЯ СТОКІВ ВИСОКОМІНЕРАЛІЗОВАНИХ ВОД З ВІДВАЛІВ ПІВДЕННОГО КРИВБАСУ ДЛЯ ПОДОЛАННЯ ГЕОЕКОЛОГІЧНОЇ КРИЗИ

О.Л. Шевченко¹, О.С. Кирилук², П.Г. Пігулевський³

¹ННІ “Інститут геології” Київського національного університету імені Тараса Шевченка, вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна, e-mail: shevch62@gmail.com

²Інститут проблем природокористування та екології НАН України, вул. Мономаха, 6, м. Дніпро, 49000, Україна, e-mail: ippe-main@svitonline.com

³Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, просп. Акад. Палладіна, 32, м. Київ, 03680, Україна, e-mail: pigulev@ua.fm

Проведено комплексний аналіз результатів геофізичних досліджень, гідролого-гідрогеологічних умов та розвитку інженерно-геологічних процесів на південній околиці м. Кривий Ріг у районі відвалів “Лівобережні” та хвостосховищ “Войкове” і “Об’єднане”, що належать ПАТ “Південний гірничозбагачувальний комбінат”. Показано, що основні впливи відвалів і хвостосховищ на навколишнє середовище пов’язані з фільтраційними втратами через дно й борти споруд, а також розпорощенням забруднювальних речовин з поверхонь відвалів. За результатами вивчення тектонічної будови осадового чохла та докембрійського фундаменту, змін хімічного складу стічних вод розроблено оптимальну схему відведення шахтних дренажних вод з урахуванням природних умов і геологічних особливостей території. Дренажний комплекс здатний стримувати розвиток небезпечних інженерно-геологічних процесів, пов’язаних переважно із фільтраційними втратами та накопиченням атмосферних вод у відвалах. Розраховано параметри адаптованих до місцевих умов дренажних та очисних споруд, обґрунтовано можливість скидання підготовлених шахтних вод до водоносного горизонту у тріщинуватих кристалічних породах докембрію. Динамічність змін гідрологічних, гідрогеологічних та інженерно-геологічних умов переконує у необхідності проведення геоекологічного моніторингу для оперативного реагування на нові прояви небезпечних процесів та явищ.

Ключові слова: Криворізький басейн, відвали, хвостосховища, інженерно-геологічний стан, геоекологічна система, підтоплення, інженерні заходи.

Актуальність проблеми. Для комплексного оцінювання стану геоекологічних систем у районах локалізації відходів гірничозбагачувальних підприємств і прогнозу наслідків впливу на них техногенних чинників, що генеруються цими об’єктами, та за завданням Державної служби екологічної безпеки у Дніпропетровській обл. визначено об’єкти першочергових досліджень з метою обґрунтування параметрів технічних засобів захисту підземних вод і ґрунтів. З аналізу екологічної ситуації, яка склалася у Кривбасі, найзагрозливішою вона вбачається на Лівобережному відвалі ПАТ “Південний гірничозбагачувальний комбінат” (ПАТ “ПівдГЗК”). На об’єкті зберігаються найпотужніші обсяги твердих відходів у Кривбасі: це відходи важких металів II–III класів небезпеки, що несуть загрозу забруднення ґрунтів і ґрунтових вод. Крім цих відвалів забруднювачами геологічного середовища та поверхневих вод Південного Кривбасу є розташовані поряд ставко-накопичувач шахтних вод у б. Свистунова, хвостосховища “Войкове” та “Об’єднане” (рис. 1).

Спостерігається фільтрація високомінералізованих вод з території відвалів ПАТ “ПівдГЗК”, що призводить до забруднення ґрунтів, ґрунтових вод і вод р. Інгулець. Вміст заліза у ґрунтових водах безпосередньо в межах ділянки Лівобережного відвалу в 15–2800 разів вищий за ГДК (0,2 мг/дм³); вміст ман-

гану – у 2–132 рази вищий за ГДК; стронцію і літію – відповідно у 1,2–4,79 і 1,2–6,33 рази. Вміст нафтопродуктів у ґрунтових водах дорівнює 4,3 мг/дм³, що суттєво перевищує ГДК (0,3 мг/дм³). Вміст свинцю, цинку, міді, кадмію, нікелю, кобальту, нітритів у ґрунтових водах повсюдно перевищує ГДК. Вміст хрому загального перевищує ГДК (1,0 мг/дм³) і становить 3,0–6,0 мг/дм³. Вода має мінералізацію 8,3 мг/дм³ (станом на 2016 р. мінералізація витоків мінералізованих вод з відвалів сягає 9,4–10,2 г/дм³, загальна жорсткість – 111,1–121,7 мг-екв./дм³).

Забруднення джерел водозабезпечення є одним із головних негативних чинників впливу на здоров’я населення в районі розміщення відвалів: рівень захворюваності порівняно з 1989 р. у 2005 р. збільшився на 30 %. У зв’язку із цим ми розглянули можливі заходи, які б дали змогу попередити або хоча б мінімізувати забруднення ґрунтових і поверхневих вод у межах впливу відвалів, а також запобігти розвитку руйнівних гірничо-геологічних процесів (карст, підтоплення, зсуви).

Сучасний стан об’єктів досліджень. У результаті обстеження території розміщення перелічених вище об’єктів виділено такі джерела та прояви небезпечних процесів, що потребують втручання:

1. Фільтраційне випирання з ознаками опливання на укосах дамб хвостосховищ “Войкове” та “Об’єднане”.

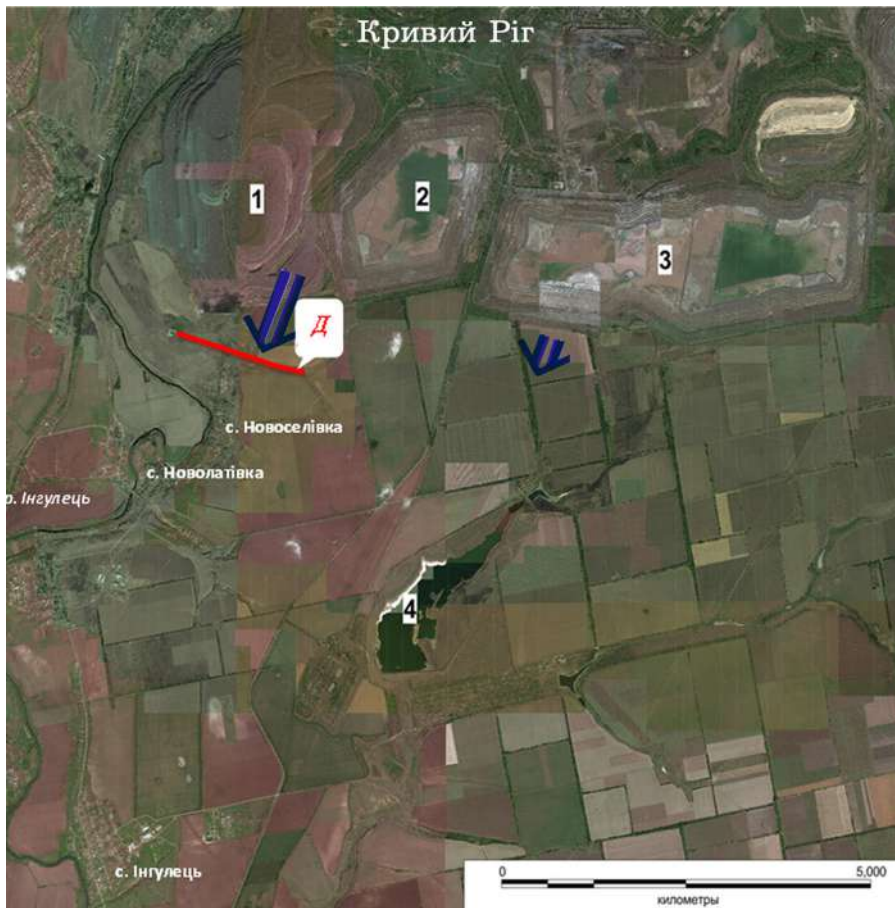


Рис. 1. Схема розміщення відвалів: 1 – “Лівобережні”; хвостосховища: 2 – “Войкове”, 3 – “Об’єднане”; 4 – ставок-накопичувач шахтних вод у б. Свистунова; Д – лінія дренажу

Fig. 1. Scheme of dump placement: “Livoberezhnyi” (1); “Voykove” tailing (2) and “Ob’ednane” tailing (3) and the rate of mine water storage in the “Svistunov” beam (4); drainage line (Д)

2. Низхідна фільтрація забруднених вод унаслідок порушення цілості захисного екрана відвалів “Лівобережні” у перший від поверхні водоносний горизонт та у нижчезалягаючі карбонатні відклади неогену, що посилює процеси карстоутворення.

3. Щонайменше 3 витoki відкритих потоків забруднених вод від підшови укосів відвалів “Лівобережні” у південному напрямку, що спричиняє підтоплення значних площ: а) поблизу колишнього села Новопетрівка, – витратою близько $0,31 \text{ м}^3/\text{с}$ (підтоплено не менше 2 га земель Новолатівської сільради); б) приблизно в центрі підшови південного укосу відвалу, витратою близько $0,22 \text{ м}^3/\text{с}$, з поширенням вод уздовж підшови відвалу на південь; площа підтоплення – приблизно 1,5–1,7 га; в) від підшови південного укосу східної частини відвалів “Лівобережні” до ставка “Новоселівський”, витратою близько $0,8 \text{ м}^3/\text{с}$; площа підтоплення – приблизно 7–8 га, яка відокремлена від північної околиці с. Новоселівка неглибокою балкою (рис. 1). Ставок у межах надзаплавної тераси р. Інгулець утворився на місці старого кар’єру переважно внаслідок живлення водами цього витoku. За останні сім років хімічний склад вод підтопленої площі змінився із сульфатно-хлоридного магнієво-натрієвого на сульфатний магнієвий, мінералізація зросла з 8,6 до 9,4–10,2 г/дм³.

4. Заболоченість місцевості на північ від с. Новоселівка, через яку проходить балка, що збирає усі забруднені поверхневі потоки з відвалів.

5. Засолення та забруднення ґрунтів у радіусі 1 км навколо відвалів через розтікання високомінералізованих ґрунтових вод та випарувальне концентрування солей, а також вітрової ерозії [2].

6. Високомінералізовані надлишки зворотних шахтних вод у ставку-накопичувачі у б. Свистунова: місткість ставка не дає змоги приймати та акумулювати весь обсяг зворотних шахтних вод, що призводить до його переповнення, аварійного стану підірних споруд і постійної загрози забруднення у вегетаційний період вод р. Інгулець.

7. Ділянки крутих схилів у селах Рудничне, Новопетрівка, Новоселівка, Інгулець та смт Широке, де активізувалися процеси карстоутворення, суфозії та поверхневої ерозії.

Для врегулювання екологічної ситуації в цілому та вибору ефективних контрзаходів потрібен комплексний системний підхід, що передбачає узгодження і координування заходів на перелічених локальних ділянках між собою. Наприклад, враховуючи те, що ставок-накопичувач у б. Свистунова переповнений, при осушенні відвалів або перехопленні фільтраційних потоків на хвостосховищах слід розраховувати на оборотні системи, з поверненням дренажних вод до накопичувачів, або облаштовувати свердловини для закачування соляних вод нижче глибин активного карстоутворення та не допускати їх надходження до р. Інгулець. Слід урахувати також закономірності гідрогеохі-

мічних умов, характерні для територій хвостосховищ і відвалів.

Гідрогеохімічні закономірності. У межах зон впливу основних гідротехнічних споруд гірничорудного об'єкта – хвостосховищ і гідровідвалів, є певні закономірності формування складу підземних вод. Ці закономірності визначаються спрямованістю окисно-відновних реакцій, що проходять за активної участі мікроорганізмів. Достатньо різкі зміни гідрохімічної та мікробіологічної обстановки відбуваються у напрямку: водойма (ставок-накопичувач) – донні відклади – зона міграції підземних вод. Основними процесами у межах ставка в б. Свистунова та інших подібних йому *накопичувачів* двохфазних стоків гірничорудних підприємств є окиснення, а також реакції обміну та сорбційно-десорбційні процеси, серед яких здебільшого переважають сорбція іонів важких металів на завислих часточках, утворення органо-мінеральних високомолекулярних лігандів та їх коагуляція. Під час окиснення сульфідних мінералів (у гідровідвалах) та “хвостів” залізних руд (у хвостосховищах) утворюються сульфати, йони заліза і водню. Утворюється також сірчана кислота, яку можна нейтралізувати карбонатними породами, тоді як закисне залізо в умовах $E_h = 350...380$ мВ і $pH = 7,6...8,0$ переходить на вищий ступінь окиснення і гідролізується з утворенням слабозрочинного гідроксиду окисного заліза. Значне зростання вмісту сульфатів (до $150-350$ мг/дм³) призводить до того, що частина закисного заліза комбінується із сульфат-йонами і лишається в розчині.

Різка зміна фізико-хімічної обстановки ($E_h = 150...250$ мВ і $pH = 6,0...7,5$) спостерігається під час фільтрації техногенних розчинів через *донні відклади* – відбуваються відновлювальні процеси, посилені діяльністю кількох груп мікроорганізмів (тіонових, сульфатредуючих і денітрифікуючих бактерій). Ці процеси ведуть до самоочищення рудничних вод від нітратів, що відновлюються до вільного азоту, і сульфатів, що переходять в карбонати з виділенням сірководню та вуглекислоти. Молекули H_2S та йони HS^- забезпечують утворення сірководневого бар'єра, що протидіє винесенню заліза. Вибір акцептора H^+ за наявності окиснювачів контролюється термодинамічними параметрами окисно-відновної реакції. Переважає денітрифікація, в результаті якої утворюються N_2 та $S_2O_4^{2-}$. Наслідком діяльності мікроорганізмів є також зміна у співвідношенні компонентів карбонатної системи, оскільки вуглець у різних формах є основою біологічного обміну в клітинах. У водній фазі донних відкладів вміст HCO_3^- та CO_2 зростає до 350 і 30 мг/дм³ та більше відповідно.

У водоносних пластах, що мають гідравлічний зв'язок з водоймами-накопичувачами, міграція техногенних елементів супроводжується менш різко вираженими фізико-хімічними процесами, що про-

ходять переважно в окиснювальному середовищі. Відбувається окиснення за участі тіонових бактерій, сполук сірки (H_2S та HS^-), які були відновлені при фільтрації через донні відклади. Якщо наявні крейдяні породи, то забруднювальні компоненти (у тому числі нітрати) консервуються у пористих блоках шляхом молекулярної дифузії.

Заходи та підходи до вивчення і мінімізації загроз. Розглянемо у тому самому зазначеному порядку можливі заходи та підходи до вивчення і мінімізації загроз.

1. *Боротьба із фільтраційними випираннями* та опливанням укосів дамб хвостосховищ полягає у зниженні гідростатичного та порового тиску рідини завдяки закладанню горизонтальних дренажів над глинистим екраном і додаткових горизонтальних свердловин. Відведення дренажних вод за межі хвостосховищ потрібно ув'язувати із заходами на проблемних осередках за п. 2–4.

2, 3. *Наявність фільтраційних втрат забруднених вод з відвалів “Лівобережний”* у першій від поверхні водоносний горизонт проявляється у підвищеній мінералізації ґрунтових і міжпластових вод, про що зазначено вище.

З метою обґрунтування параметрів технічних засобів захисту підземних вод та уповільнення і припинення небезпечних інженерно-геологічних процесів, що пов'язані з відвалами та хвостосховищами, ми проаналізували результати геолого-геофізичних досліджень [4]. За допомогою останніх визначено осередки максимальних фільтраційних втрат забруднених вод з відвалів “Лівобережні” та хвостосховища “Об'єднане” у першій від поверхні водоносний горизонт.

Згідно з геолого-геофізичними дослідженнями [4], було виявлено тектонічне порушення, вздовж якого за геоелектричними даними у наш час відбуваються постійні фільтраційні втрати із відвалів “Лівобережні” та хвостосховища “Войкове” (рис. 2, напрямок потоку показано стрілкою).

У розділеному розривними порушеннями обводненому масиві вплив гідростатичного та порового тиску рідини призводить до вторинних деформацій гірських порід (під тиском товщ, що лежать вище, і підземних вод). Насамперед у зонах тектонічних порушень активізуються мінералізовані фільтраційні потоки, які прямують з відвалу “Лівобережні” та хвостосховища “Войкове” на с. Новоселівка, що прискорює карстоутворення, зсуви та провали на забудованій території (рис. 2).

Загальний фільтраційний потік від хвостосховищ ПАТ “АрселорМиттал Кривий Ріг” і ПАТ “ПівдГЗК” (відповідно до наданої нам інформації [2]) у напрямку до дренажних систем становить близько $73\ 760$ м³/добу. Проте дренажною системою перехоплюється $72\ 357$ м³/добу. Решту, а саме 1404 м³/добу ($0,52$ млн м³/рік, або 2% загального об'єму фільтраційних вод), формують втрати під

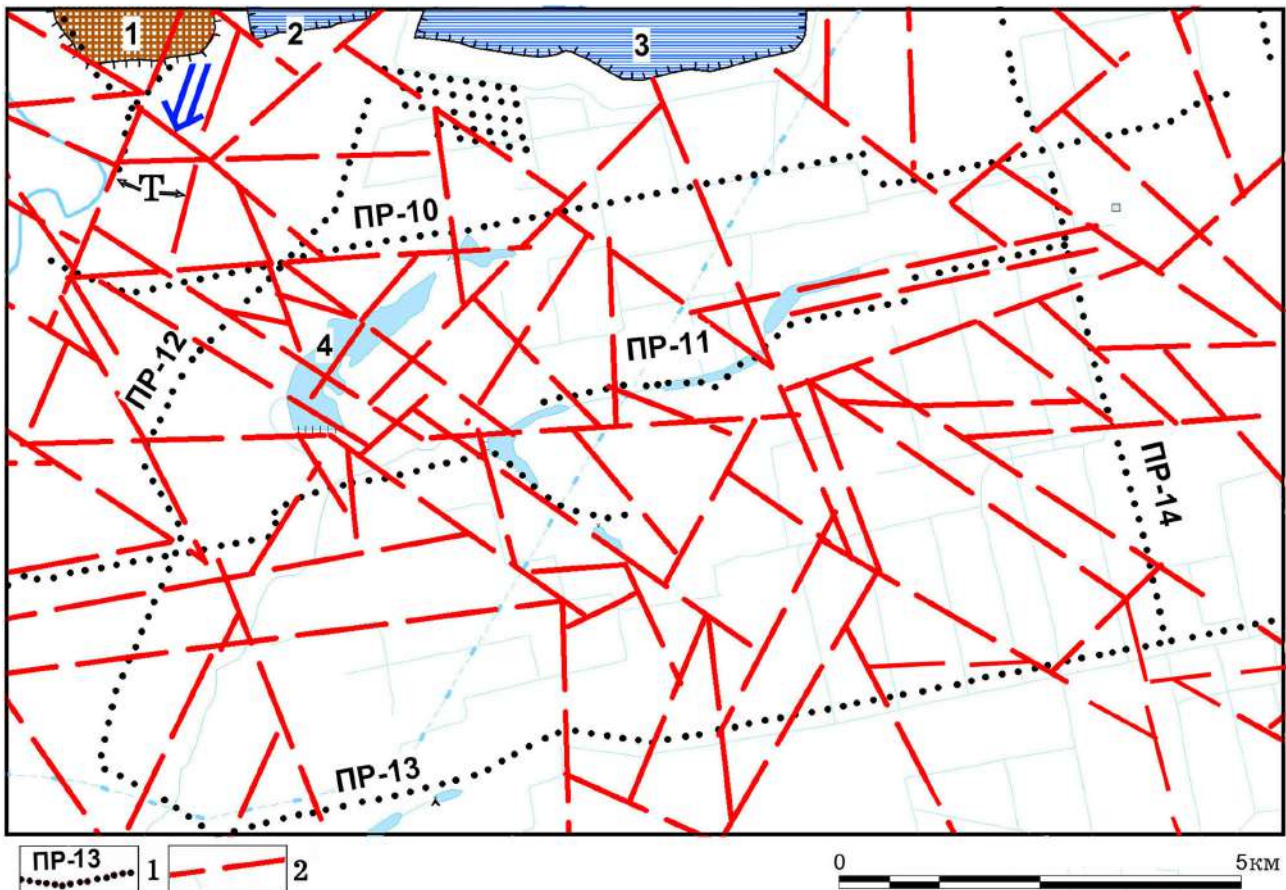


Рис. 2. Карта-схема розривної тектоніки за даними інтерпретації локальної складової гравітаційного поля (нумерація об'єктів відповідає нумерації на рис. 1)

Fig. 2. Map-diagram of discontinuous tectonic according to the interpretation data of local component of the gravity field (object numbers corresponds to that in Figure 1)

дренажами хвостосховищ, які з надходженням у водоносні горизонти кардинально змінюють гідродинамічний та гідрохімічний режими підземних вод.

Незворотні фільтраційні втрати хвостосховищ ПАТ «ПівдГЗК» та ставу оберненого водопостачання становлять 1,93 млн м³/рік. З них під дренажами у підземні води «проскакує»:

- з хвостосховища «Войкове» – 0,1 млн м³/рік, що дорівнює 4 % загального обсягу фільтраційних втрат;

- з хвостосховища «Перша карта» – 0,14 млн м³ за рік, або 5,7%;

- з хвостосховища «Четверта карта» – 0,12 млн м³ за рік, або 5%.

Отже, загальні фільтраційні втрати (0,52 + 1,93) становлять 2,45 млн м³/рік.

Ми розрахували параметри додаткового комбінованого дренажу для перехоплення частини цих втрат (0,0076 м³/с) і поверхневих потоків від відвалів «Лівобережні» у південному напрямку із сумарними витратами близько 1,33 м³/с (третя група проблемних локацій у вищенаведеному переліку) і запропонували оригінальне технічне рішення щодо їх утилізації. Воно полягає у скиді мінералізованих вод через водоприймальні поглинальні свердловини до водоносного горизонту у тріщинуватих

кристалічних породах докембрію, що містить підземні води ще більшої мінералізації. Таким чином, значною мірою розв'язуються проблеми, пов'язані з підтопленням і техногенним живленням ставка «Новоселівський». Для нейтралізації сірчаної кислоти та зменшення вмісту заліза і нітратів у воді перед її скиданням передбачено установку відстійника із карбонатним фільтром.

Комбінований дренаж складатиметься з вогнищевого дренажу, конструкцію якого запозичено з меліоративного будівництва [5, 7] і яку у гірничому водовідведенні практично не застосовують, та ланок вертикального дренажу сифонного типу. Останній рекомендується там, де коефіцієнти фільтрації порід на глибині 4,5–8,5 м, по яких відбуваються фільтраційні втрати під дренами, становлять не менше як 5 м/добу. Водозбірний закритий колектор матиме довжину близько 2,6 км, діаметр 1220 мм і пропускну здатність 1,354 м³/с – при роботі повним перерізом і гідравлічному ухилі 0,001 (використовуємо також природний ухил місцевості). Трубчастий колектор слід закласти вздовж тальвегу балки із заглибленням до 3,7 м (по підшві) в гирлі, де розташований бетонований відстійник (рис. 3), через який пробурюють свердловини на водоносний горизонт тріщинних вод завглибшки близько

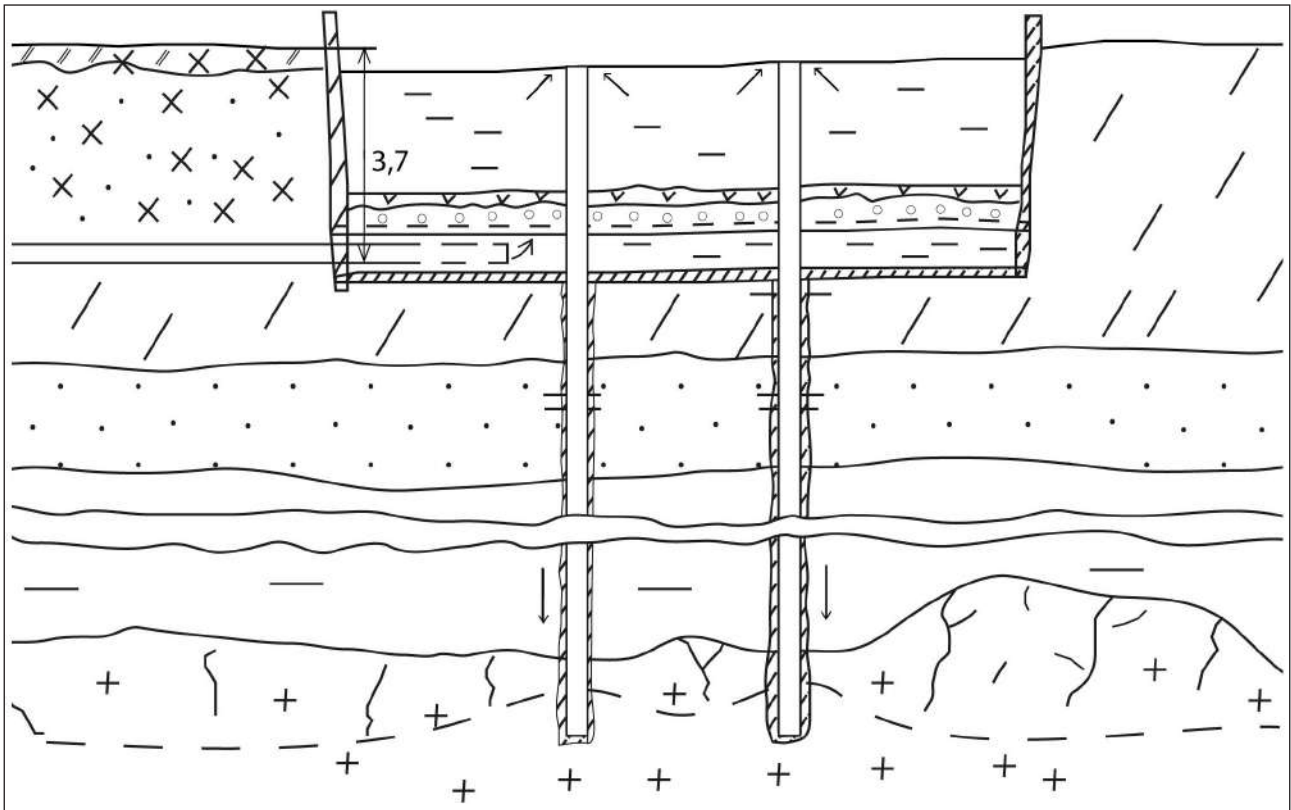


Рис. 3. Розріз бетонного відстійника з двома свердловинами-водоскидами, устя яких розміщуються у тріщинуватих кристалічних породах фундаменту. Нижні частини свердловин від забою обсипані гравієм, над ними – бентонітова пробка, вище затрубний простір зацементовано. Мінералізована вода (8–9 г/дм³) надходить у відстійник по дренажному колектору, над гирлом якого закладено двокомпонентний сорбувальний фільтр

Fig. 3. The transverse profile of a concrete settling basin with two wells-spillway; the mouth of wells is located in the cracked crystalline rocks of the foundation. The lower part of the wells is covered with gravel, over it – bentonite plug, above the annulus is cemented. The mineralized water (8–9 g /dm³) enters the reservoir through the drainage collector, a two-component sorption filter is laid over the mouth

75 м. Верхня частина трапецієподібної траншеї над колектором може бути заповнена цеолітовим туфом середніх фракцій, що має високу сорбційну ємність [1, 6, 8]. У відстійнику з боків і над перфорованою трубою, перекритою сітчастим фільтром, закладають шари подрібненого вапняку (0,4 м над трубою) та цеолітового туфу (0,15 м), через які вода підіймається до устя свердловин (на 0,3 м нижче поверхні землі) і переливом потрапляє у кристалічні породи фундаменту.

Відведення надлишкових вод з перезвожених ділянок, що прилягають до схилів, за допомогою комбінованого та вертикального дренажу та скидання їх нижче місцевого базису ерозії (у кристалічні породи) дає змогу уникнути катастрофічного розвитку карстоутворювальних процесів, що проявляються на схилах (див. п. 7).

У нижній частині відвалів лесоподібні суглинки основи та хвости дрібних і пилюватих фракцій ущільнилися під вагою накопичень і мають низькі коефіцієнти фільтрації (0,1 – 0,009 м/добу). Тому перенасичені атмосферною вологою відклади, які лежать вище, мають високий потенціал до опливання та зсунення. Контурний дренаж у цьому випадку є неефективним. Для осушення відвалів “Лівобережні” (див. п. 2) на відмітці 140 м (вище

ущільнених порід) слід пробурити віялоподібний ряд горизонтальних свердловин від укосів до центру. Цей захід спрямований також на зменшення припливу забруднених вод з відвалів у водоносні горизонти.

Обсяги інфільтраційних вод, які треба перехоплювати, можна визначити з рівняння

$$Q = \frac{P - E}{\mu t} F, \quad (1)$$

де P – середня багаторічна річна кількість опадів, м; E – витрати вологи в зону аерації та випаровування з поверхні акумульованих у відвалі вод, м; μ – коефіцієнт водовіддачі, д.о.; t – час, за який треба відвести певну кількість води, с; F – площа відвалів, м².

Для розрахунків прийнято середню багаторічну кількість опадів 0,420 м, водовіддачу уламкових порід (окиснені руди та сланці) – 0,15, площу відвалів – 818 000 м². Тоді загальна кількість води, яку треба відвести, або загальні витрати дренажних споруд, дорівнюватиме близько 0,519 м³/с, а модуль дренажного стоку, який є головним показником ефективності роботи проектного дренажу, становитиме:

$$q = \frac{Q}{F} = 518,8/818 = 0,634 \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{га}^{-1}. \quad (2)$$

Наступний крок – розрахунок кількості дренажних ліній на задану площу. Витрати однієї дрени можна розрахувати за припущення рівномірності руху води, використавши формулу Шезі:

$$Q_{\text{др}} = SV = \pi r^2 C \sqrt{RI}, \quad (3)$$

де S – площа поперечного перетину дрени, яка за умов роботи дрени повним перетином дорівнює πr^2 ; V – швидкість вільного потоку води в дрени; I – гідравлічний ухил, що дорівнює куту закладання дрени; C – коефіцієнт Шезі ($\text{м}^{0,5}/\text{с}$) – функція коефіцієнта шорсткості (n) та гідравлічного радіуса (R), для трубчастих дрен може бути визначений з напівемпіричного рівняння П.Ф. Горбачова [3]:

$$C = \frac{70\sqrt{R}}{n + \sqrt{R}} \quad (\text{де } n = 0,1). \quad (4)$$

Після перетворень, враховуючи, що радіус дрени $r = d/2$ (d – діаметр дрени або колектора), гідравлічний радіус $R = \pi r^2/2\pi r = d/4$, можна записати:

$$Q_{\text{др}} = \frac{\pi d^2}{4} \frac{70\sqrt{d/4}}{n + \sqrt{d/4}} \sqrt{\frac{d}{4}} I. \quad (5)$$

Прийmemo рекомендовані значення параметрів для трубчастих дрен і самостічних мереж водовідведення: $I = 0,0035$; $d = 0,3$ м. Врахуємо також, що реальне наповнення труби складатиме не більш як 0,7. Тоді:

$$Q_{\text{др}} = 0,7 \frac{3,14 \cdot 0,09}{4} \frac{70\sqrt{0,075}}{0,1 + \sqrt{0,075}} \sqrt{0,0002625} = 0,041 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Для дренажних труб і колекторів круглого перетину, за повного їх наповнення, рекомендується у рівнянні (3) визначати швидкість за формулою:

$$V = 0,5C \sqrt{dI} = 0,5 \frac{100\sqrt{dI}}{1 + \frac{2K}{\sqrt{d}}}, \quad (6)$$

де K – особливий коефіцієнт шорсткості, який для керамічних труб дорівнює 0,27, для бетонних – близько 0,28, для пластикових – 0,19. Тоді за коефіцієнта шорсткості 0,28, повна витрата дрени становитиме 0,057 $\text{м}^3/\text{с}$.

Визначено, що площа, яку можна дрениувати колектором заданого діаметра, дорівнює 64,67 га ($Q/q = 41,0/0,634$). Тоді загальна кількість водозбірних колекторів для відвалу становитиме: $N_{\text{др}} = 818/64,67 = 13$ одиниць (818 га – сучасна площа відвалів “Лівобережні”. Те саме значення отримаємо, поділивши загальний обсяг водонадходження на витрати з одного колектора: $0,5188/0,041 = 13$ од. Для ефективного водопониження до цих колекторів треба підвести кілька рядів поперечних дрен меншого діаметра. Якщо відстань між дренами дорівнюва-

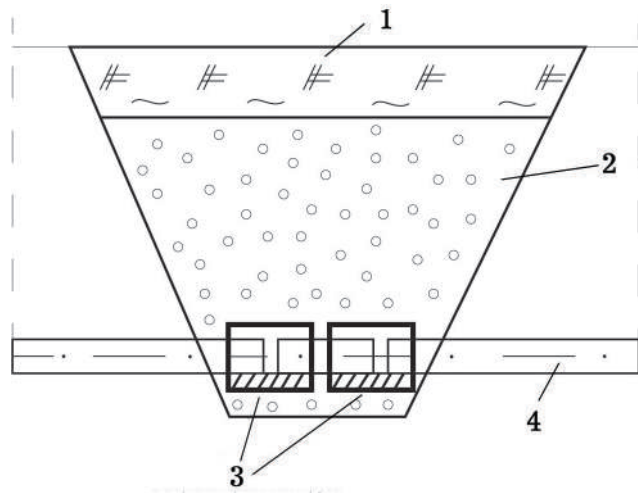


Рис. 4. Конструкція колонки-поглиначі із фільтрувально-сорбувальним наповненням для водопониження, водоочищення та відведення надлишкових вод з перезволожених і заболочених ділянок: 1 – рослинний ґрунт; 2 – гравій; 3 – два відрізки керамічної труби; 4 – колектор (дрена)

Fig. 4. The design of the absorber column with filtering and sorbent filling for drawdown, water purification and removal of excess water from percolated and wetlands

тиме 35 м, що відповідає складу порід і коефіцієнту водовіддачі, то сумарна довжина дрен на площі водозбору одного колектора дорівнюватиме 18 477 м. Оскільки конфігурація відвалів у плані має неправильну форму, окремі дрени матимуть різну довжину. Для осушення всієї площі відвалів необхідно закласти 240200 м дрен. За ширини відвалів близько 1600 м відстань між виходами колекторів і крайніх колекторів від краю відвалів становитиме 114,3 м. При цьому дрени слід закладати у місцях максимального височування води, тобто там, де породи більш промиті.

4. Осушення заболоченої місцевості на північ від с. Новоселівка можна виконати, заклавши горизонтальний трубчастий поперечний дренаж на глибину до 2,5 м з колонками-поглиначами (рис. 4) на ділянках замкнених перезволожених мікропонижень. Дренаж двобічного командування слід підвести до поздовжнього (за напрямком ліній току) колектора, що скидатиме воду до б. Свистунова. Якщо вода у западинних формах, або та, що надходить в них з відвалів, має підвищену (надприродну) мінералізацію та вміст токсичних речовин (сполук важких металів), як заповнювальний матеріал можна використати цеоліт-сметитовий туф (вулканічна порода, яку вилучають як побічний продукт під час видобутку базальту з Рівненського родовища).

5. Променеві горизонтальні дрени верхнього ярусу (рис. 5), які зводяться до колодязя вогнищевого дренажу, забезпечать зниження рівня ґрунтових вод навколо відвалів нижче критичного рівня, від якого починається випаровування ґрунтових вод і концентрування солей.

Комбінований вогнищевий дренаж також буде найефективнішим для перехоплення висо-

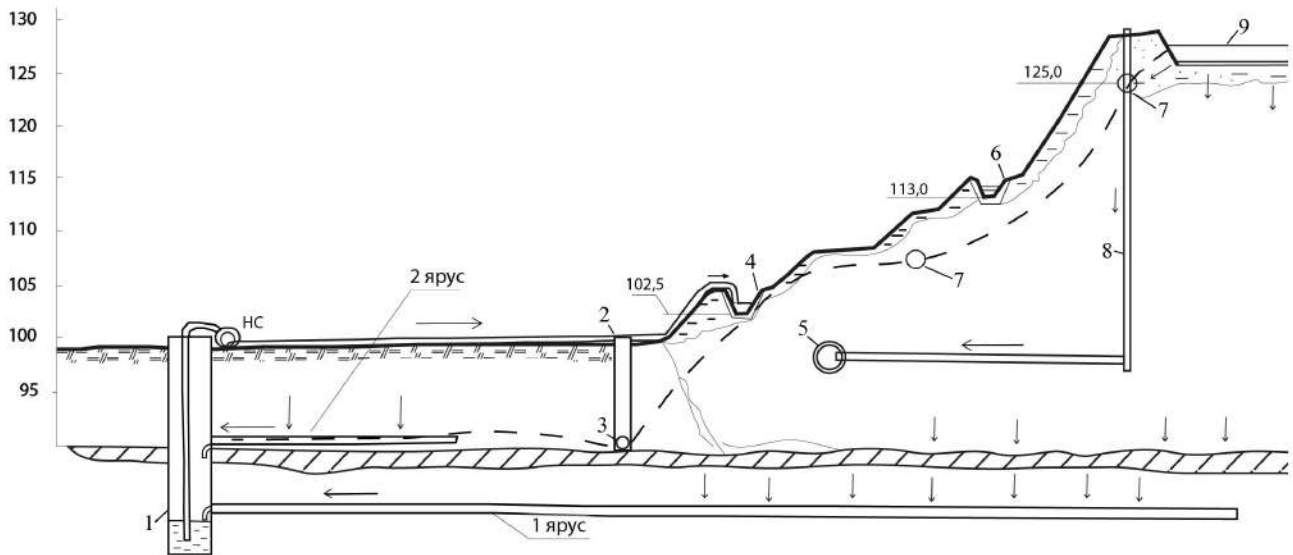


Рис. 5. Поперечний профіль хвостосховища "Войкове" з існуючими та рекомендованими дренажними спорудами: 1 – рекомендований променевий (вогнищевий) дренаж, що складається з колодязя-водозбірника та горизонтальних свердловин-променів, розподілених двома ярусами; 2 – спостережна свердловина (СС); 3 – глибока дрена; 4 – дренажний лоток; 5 – залізобетонний колектор відведення дренажних вод, $d = 1000$ мм; 6 – дренажний лоток; 7 – трубчастий дренаж, $d = 500$ мм; 8 – водоскид

Fig. 5. Cross section of the "Voykovo" tailings storage tank with existing and recommended drainage facilities: 1 – Recommended beam drainage consisting of a well and horizontal wells-beams distributed by two tiers; existing ones: 2 – observation well; 3 – deep drain; 4 – drainage flume; 5 – ferroconcrete drainage collector, $d = 1000$ mm; 6 – drainage flume; 7 – tube drain, $d = 500$ mm; 8 – spillway

комінералізованих вод, що поширюються з території Лівобережного відвалу та хвостосховища "Войкове" (див. рис. 1) уздовж Тарапаківського розлому.

6. Ставок-накопичувач шахтних вод є об'єктом незавершеного будівництва, тимчасово дозволений максимальний обсяг накопичення надлишків шахтних вод у ньому становить 7,75 млн м³. Шахтні води надходять у ставок по напірному трубопроводу діаметром 1200 мм. Відкачування води на скид забезпечують дві плавучі насосні станції. Дозований скид надлишків зворотних вод здійснюється в чітко визначений міжвегетатійний період (листопад–лютий), з розведенням їх до рекомендованих норм якості води у лімітувальних контрольних створах. Проте такий режим експлуатації ставка-накопичувача за певних умов є потенційно небезпечним, оскільки при періодичному скиданні високомінералізованих надлишків зворотних вод неможливо дотриматися чинних норм якості води. Очевидно, що аварійні ситуації у ставі-накопичувачі б. Свистунова можна попередити, зменшивши скиди до неї шахтних вод, що надходять з відвалів і хвостосховищ. Ці стоки слід перехоплювати дренажем і повертати за допомогою насосних станцій до хвостосховищ, частину скидати в оборотний ставок у б. Грушевата й аварійну місткість. Для очищення забрудненої води у б. Свистунова її слід пропускати через фільтрувальну дамбу, відстоювати у ставку та біологічно очищувати через штучні насадки типу "Вія" з активованим на них перифітоном (гідробіонтами) (рис. 6). Частину перехоплених мінералізованих фільтраційних втрат з відвалів доцільно закачувати у гідро-

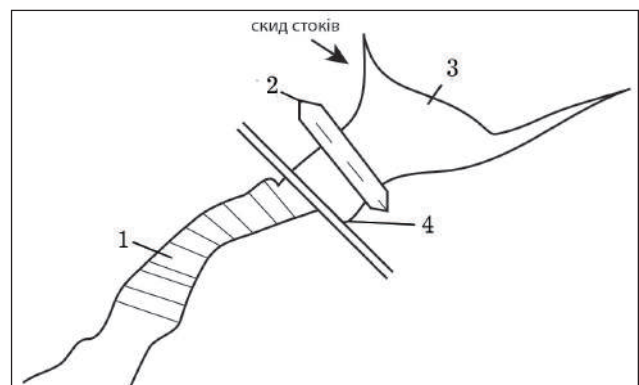


Рис. 6. Комплекс заходів щодо зменшення концентрації забруднювальних речовин у шахтних водах ставка-накопичувача у б. Свистунова: 1 – біофільтри "Вія"; 2 – фільтрувальна дамба; 3 – водосховище; 4 – ставок-відстійник

Fig. 6. A set of measures to reduce the concentration of pollutants in mine waters of a rate-accumulator in the Svistunov beam: 1 – floating biofilters "VIA"; 2 – filtering dam; 3 – reservoir; 4 – pond-tank (settling basin)

геологічні місткості кристалічного фундаменту на великій глибині.

Висновки. Поєднання геофізичних, гідрохімічних і гідрогеологічних досліджень дало змогу виявити осередки швидкого та небезпечного розвитку карстових процесів, локалізувати місця фільтраційних втрат мінералізованих вод з відвалів і хвостосховищ ПАТ "ПівдГЗК", розробити оригінальні технічні рішення щодо дренажу та очищення вод, використання яких допомагає суттєво знизити загрозу розвитку небезпечних інженерно-геологічних процесів: підтоплення, карсту, провалів та зсувів. Для попередження негативних наслідків взаємного впливу дренажних споруд та інших природоохорон-

них заходів або активізації карстоутворювальних процесів (через прискорення фільтрації) необхідно використовувати комплексний підхід до впровадження природоохоронних заходів, що враховує закономірні зміни гідрогеохімічної обстановки.

Впровадження запропонованих інженерних заходів дасть змогу зменшити площі підтоплення територій, розташованих на південь від відвалів і хвостосховищ, запобігти розвитку інших негативних процесів та створенню надзвичайних ситуацій.

Отримані результати та розглянуті інженерні заходи можна екстраполювати й на інші подібні об'єкти, що загрожують навколишньому середовищу та прилеглим населеним пунктам.

Список бібліографічних посилань

1. Богданов Г.О. Цеоліт-сметитові туфи Рівненщини: біологічні аспекти використання / [Г.О. Богданов та ін.]. Рівне: Волинські обереги, 2005. 184 с.

2. Гідросистема Криворізького басейну – стан і напрямки поліпшення / [І.Д. Багрий, П.Ф. Гожик та ін.]. К.: Фенікс, 2005. 216 с.
3. Опыт осушения земель закрытым дренажем / [под ред. А.Л. Лукянаса]. М.: Колос, 1975. 320 с.
4. Пігулевський П.Г., Свистун В.К., Кирилюк О.С. Дослідження геоелектричними методами інженерно-геологічного стану Південно-Західного Кривбасу. Частина 2. Результати застосування геоелектричних методів при обстеженні ділянок підтоплення. *Геоінформатика*. 2016. № 4 (60). С. 62–74.
5. Соколовская Л.Н. Осушение земель закрытым комбинированным дренажем. М.: Колос, 1966. 84 с.
6. Тарасевич Ю.И. Природные сорбенты в процессах очистки воды. К.: Наук. думка, 1981. 208 с.
7. Эггельсман Р. Руководство по дренажу. М.: Колос, 1984. 246 с.
8. Mohammad A., Najar M. Physico-chemical adsorption treatments for minimization of heavy metal contents in water and wastewaters. *Journal of Scientific & Industrial Research*. 1997. Vol. 56. P. 523–539.

Надійшла до редакції 03.10.2017 р.

УПОРЯДОЧЕНИЕ СТОКОВ ВЫСОКОМИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ВОД ИЗ ОТВАЛОВ ЮЖНОГО КРИВБАССА ДЛЯ ПРЕОДОЛЕНИЯ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО КРИЗИСА

А.Л. Шевченко¹, А.С. Кирилюк², П.И. Пігулевський³

¹УНИ “Институт геологии” Киевского национального университета имени Тараса Шевченко, ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина, e-mail: shevch62@gmail.com

²Институт проблем природопользования и экологии НАН Украины, ул. Мономаха, 6, г. Днепр, 49000, Украина, e-mail: ippe-main@svitonline.com

³Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, просп. Акад. Палладина, 32, г. Киев, 03680, Украина, e-mail: pigulev@ua.fm

Проведен комплексный анализ результатов геофизических исследований, гидролого-гидрогеологических условий и развития инженерно-геологических процессов в районе отвалов “Левобережные”, хвостохранилищ “Войково” и “Объединенное”, расположенных на южной окраине г. Кривой Рог. Основное влияние отвалов и хвостохранилищ на окружающую среду связано с фильтрационными потерями через дно и борта сооружений, а также с дефляцией загрязняющих веществ с поверхности хвостовых отложений. Изучение особенностей тектонического строения кристаллического фундамента и осадочного чехла, изменений химического состава сточных вод позволило более широко использовать природные условия, в том числе геологические особенности территории для отвода шахтных дренажных вод и сдерживания опасных инженерно-геологических процессов, связанных преимущественно с фильтрационными потерями и накоплением атмосферных вод в отвалах. Установлено 7 проблемных источников, проявлений и очагов активизации негативных процессов: фильтрационное замещение (выдавливание) с признаками оплывания на откосах дамб хвостохранилищ “Войково” и “Объединенное”; нисходящая фильтрация загрязненных вод вследствие нарушения целостности защитного экрана отвалов “Левобережные” в первый от поверхности водоносный горизонт и в нижележащие карбонатные отложения неогена, что усиливает процессы карстообразования; загрязнение от не менее 3 источников открытых потоков высокоминерализованных вод от подошвы откосов отвалов “Левобережные”; заболоченная местность на север от с. Новоселовка, через которую проходит балка, собирающая все загрязненные поверхностные потоки с отвалов; засоление и загрязнение грунтов в радиусе 1 км вокруг отвалов вследствие растекания высокоминерализованных грунтовых вод и выпаривания с концентрированием солей, а также ветровой эрозии; активизация процессов карстообразования, суффозии и поверхностной эрозии на участках крутых склонов в селах Рудничное, Новопетровка, Новоселовка, Ингулец и пгт Широкое. Для каждого пункта разработаны дренажные и очистительные мероприятия, обоснована возможность сбрасывания подготовленных шахтных вод в водоносный горизонт в трещиноватых кристаллических породах докембрия; рассчитаны параметры дренажа. Динамичность изменений гидрологических, гидрогеологических и инженерно-геологических условий убеждает в необходимости проведения геоэкологического мониторинга для оперативного реагирования на новые проявления опасных процессов.

Ключевые слова: Криворожский бассейн, отвалы, хвостохранилище, инженерно-геологическое состояние, геоэкологическая система, подтопление, инженерные мероприятия.

REGULATION OF HIGHLY MINERALIZED DRAINAGE IN THE YUZHNYI KRIVBAS DUMP TO PREVENT GEO-ECOLOGY CRISIS

O.L. Shevchenko¹, O.S. Kyryliuk², P.G. Pigulevskiy³

¹*Institute of Geology of Kyiv Taras Shevchenko National University, 90, Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine, e-mail: shevch62@gmail.com*

²*Institute of Nature Management Problems and Ecology, NAS of Ukraine, 6, Monomakha Str., Dnipro, 49000, Ukraine, e-mail: ippe-main@svitonline.com*

³*Institute of Geophysics, NAS of Ukraine, 32, Palladin Ave., Kyiv, 03680, Ukraine, e-mail: pigulev@ua.fm*

Purpose The paper aims to evaluate the environmental impact of Levoberezhnyi dumps and Voikovo and Obiedinennoe tail-end depositaries located at the south outskirts of Kryvyi Rih; to study the sedimentary cover tectonic structure and pre-Cambrian base features, sewage chemical composition alteration to be utilized under natural conditions, geological features of the location designed for mine drainage and containment of dangerous engineering and geological developments due to filtration losses and atmospheric waters accumulation in the dumps.

Methodology We used a complex analysis of the geophysical research results, hydrologic and hydrogeology conditions and engineering and geological developments in Levoberezhnye dumps and Voikovo and Obiedinennoe tail-end depositaries locations to determine their impact on the environment.

Findings We have revealed 6 problematic sources, displays and seats of negative and phenomena activation: filtration substitution with signs of Voikovo and Obiedinennoe tail-end depositaries dam dump gutter; descending filtration of contaminated water in the former from the surface water level and carbonate deposits of neogene situated below as the result of breaking the protection screen that accelerates the karst formation; at least 3 sources of contaminated water open flows of Levoberezhnye foot slope dumps; a marshy ravine situated to the north from Novoselovka settlement that takes the dumps contaminated surface flows; soil salinization and contamination within the radius of 1 km around the dumps as a result of highly mineralized subsoil waters spreading and vaporization, and salts concentration as well as of wind erosion; activation of karst formation, suffusion and surface erosion on the steep slopes area in Rudnichnoe, Novopetrovka, Novoselovka, Inhulets settlements and small town of Shyrokoie.

Practical value/ implications We have suggested measures for drainage and purification; we have also grounded the possibility of mine waters discharging into the water leveling in cracked crystalline rocks of pre-Cambrian period; drainage parameters have been calculated. The dynamics of hydrologic, hydro-geological, engineering, and geologic conditions supports the necessity of carrying out geo-ecologic monitoring in order to react promptly to new types of dangerous processes and phenomena.

Keywords: Krivoi Roh fields, dumps, tail-end depository, engineering and geologic conditions, geo-ecologic system, flooding, engineering event.

References:

1. Zeolite-smectite tufts of the Rivne region: biological aspects of use / H.O. Bohdanov etc. Rivne: Volynski oberehi, 2005, 184 p. [in Ukrainian].
2. Hydrosystem of the Kryvyi Rih basin – state and directions of improvement / I.D. Bahrii, P.F. Hozhyk, etc. Kyiv: Phoenix, 2005, 216 p. [in Ukrainian].
3. The experience of draining lands with closed drainage / Ed. A.L. Lukianas. Moscow: Kolos, 1975, 320 p. [in Russian].
4. Pigulevskiy P.I., Svystun V.K., Kyryliuk O.S. Geoelectric study of engineering-geological condition of South-Western Kryvbas. Part 2. The application results of geoelectric methods in the survey of flooding areas. *Geoinformatika*, 2016, no. 4, pp. 62-74 [in Ukrainian].
5. Sokolovskaya L.N. Drainage of lands by closed combined drainage. Moscow: Kolos, 1966, 84 p. [in Russian].
6. Tarasevich Yu.I. Natural sorbents in water purification processes. Kyiv: Naukova dumka, 1981, 208 p. [in Russian].
7. Ehhelsman R. Guide to drainage. Moscow: Kolos, 1984, 246 p. [in Russian].
8. Mohammad A., Najar M. Physico-chemical adsorption treatments for minimization of heavy metal contents in water and wastewaters. *Journal of Scientific & Industrial Research*, 1997, vol. 56, pp. 523-539.

Received 03/10/2017