

Шерстюк Н.П.

Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара

ПРОГНОЗУВАННЯ МІНЕРАЛІЗАЦІЇ ТА ВМІСТУ ГОЛОВНИХ ІОНІВ У ВОДІ ВОДОЙМИ ХВОСТОСХОВИЩА ПІВНІЧНОГО ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНОГО КОМБІНАТУ (КРИВБАС)

Ключові слова: хвостосховище; техногенні води; змішування; гідрохімічний баланс; мінералізація; головні іони

Постановка проблеми. Сучасна технологія збагачення залізних, марганцевих руд і руд кольорових металів передбачає складування відходів їхнього виробництва в спеціальних хвостосховищах [1].

Хвостосховище – комплекс спеціальних споруд і обладнання, призначений для зберігання або поховання радіоактивних, токсичних та інших відвальних відходів збагачення корисних копалин, які іменуються хвостами. На гірничо-збагачувальних комбінатах (ГЗК) із видобутої руди одержують концентрат, а відходи переробки переміщують у хвостосховище у вигляді пульпи, що складається на 4-6 мас. % з мінеральної речовини та 94-96 % – води. При відстоюванні відбувається поділ на осадову тверду фазу хвостів і воду. Вода вдруге використовується гірничо-збагачувальною фабрикою або очищується й скидається у водотоки.

Сьогодні лише в Придніпровському регіоні, що включає Дніпропетровську, Запорізьку й Кіровоградську області, за рахунок відходів залізородних гірничо-збагачувальних комбінатів у різноманітних хвостосховищах (яких близько 300) акумульовано більше 3,5 млрд. м³ відходів, з них левова частка близько 2,7–3 млрд. м³ – у Дніпропетровській області, з яких більше 2 млрд. м³ - у Кривбасі.

У районах, де розташовані гірничо-збагачувальні комбінати, техногенний вплив на навколишнє середовище настільки значний, що природні механізми не здатні його компенсувати.

Функціонування хвостосховищ сьогодні стало однією з найважливіших економічних та екологічних проблем не тільки гірничо-збагачувальних комбінатів, а й усієї держави.

Аналіз основних досліджень та публікацій. Незважаючи на очевидну важливість кількісної оцінки процесів формування хімічного складу природно-техногенних та техногенних вод суші, на даний час ця проблема остаточно не вирішена. Особливості гідрохімічних процесів, що відбуваються у таких водоймах є очевидними [1,2], але складно вивчаємими внаслідок багатокомпонентності системи та різноманітності процесів, які там відбуваються. Найбільш повно гідрохімічні процеси, що відбуваються у хвостосховищі мідіплавильного комбінату відображені у роботі [3].

У звітах з наукових досліджень [4, 5] розглянуті особливості експлуатації хвостосховищ Кривбасу, а саме Північного гірничо-збагачувальонго комбінату. Найбільш наближені до вирішення подібних проблем роботи [6, 7], у яких викладено сучасне розуміння гідрохімічного балансу та вирішені задачі такого ж напрямку для водоймищ-охолоджувачів АЕС.

Мета досліджень. Формування потужної, як за об'ємом так і за хімічним складом, гідрохімічної аномалії – хвостосховища – неминучо впливає на усі елементи ландшафту. За умови скиду високомінералізованих вод із хвостосховищ у поверхневі водотоки цей вплив стає ще більш відчутним.

Метою досліджень є складання гідрохімічного балансу водойми хвостосховища Північного гірничо-збагачувального комбінату (ПівнГЗКа), на підставі якого надалі прогнозувати мінералізацію та вміст головних іонів у воді.

Викладення основного матеріалу. Хвостосховище, по аналогії з природними водоймищами, може бути віднесено до акваторіальних техногенних гідрохімічних систем [7]. Необхідно підкреслити, що загалом гідрохімічні системи такого типу суттєво вирізняються від гідрохімічних систем текучих вод, крім того, виникнення та функціонування хвостосховищ є специфікою гірничо-видобувної промисловості і формування хімічного складу води у ставку хвостосховища повністю залежить від техногенних чинників.

Всі хвостосховища Кривбасу відносять до комбінованих рівнинно-балкових. За способом спорудження вони спочатку мали характерні риси хвостосховищ гребельного типу, але останнім часом у зв'язку з переповненням і нарощуванням дамб мають ознаки хвостосховищ поступової надбудови. Виключенням є хвостосховище Інгулецького гірничо-збагачувального комбінату - рівнинного типу. Всі хвостосховища мають перший клас капітальності, тобто відносяться до особливо відповідальних гідротехнічних споруд [8].

У даній роботі розроблено прогноз мінералізації та вмісту головних іонів у водоймі хвостосховища Північного гірничо-збагачувальонго комбінату (ПівнГЗКу). Основна гребля хвостосховища ПівнГЗКа розташована на відстані 2,5 км від гирла балки Петрикова, що впадає в р. Саксагань. Також, в балці Петрикова за зовнішнім контуром правобережної огорожувальної дамби, хвостосховища було створено дві аварійні ємності: перша - в західній частині і друга - в північній частині хвостосховища (рис.1).

Площа хвостосховища складає 1295 га (з них на саме хвостосховище припадає 980,0 га, а на водойму оборотної води – 315,0 га). Довжина хвостосховища 17,3 км (хвостосховище – 11,0 км, водойма – 6,3 км). Замикає контур хвостосховища розділова гребля довжиною 1,2 км, що відокремлює водойму зворотного водопостачання від самого хвостосховища.

Контроль за хімічним складом води у водоймах хвостосховищ, як потужних забруднювачів довкілля, є пріоритетною задачею екологічних служб гірничо-збагачувальних комбінатів [9].

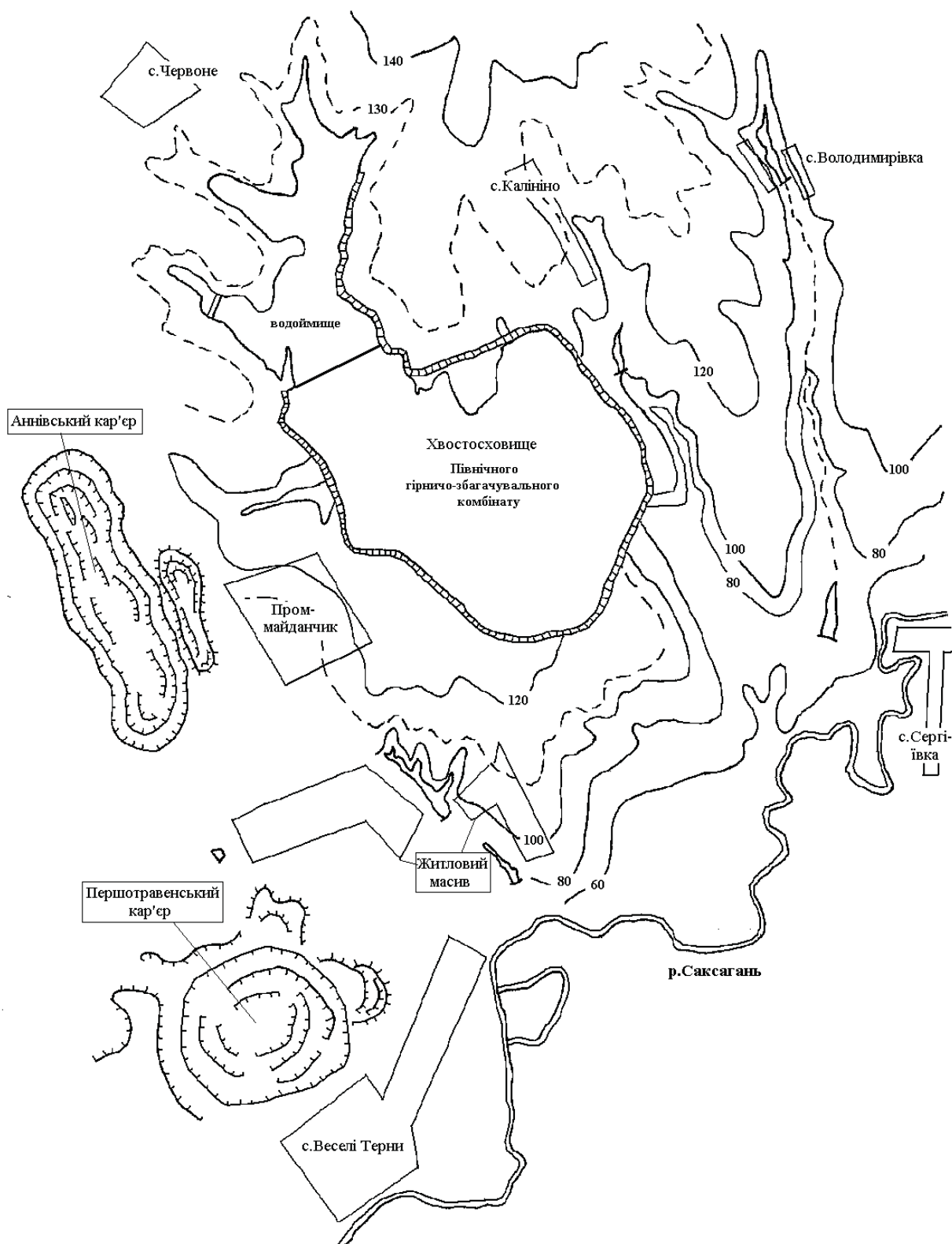


Рис. 1. Картохема території Північного гірничо-збагачувального комбінату

Прогнозування гідрохімічних умов таких об'єктів, як хвостосховища є складною задачею через багатомірність гідрохімічних процесів, які у ньому відбуваються та великою кількістю різноманітних компонентів та чинників.

Вміст хімічних речовин у воді водойми хвостосховища може бути прогнозовано методом аналогії або розрахунковим методом [6]. Метод аналогії є досить наближеним, якісним або напівкількісним, тому й рідко використовується. Найбільш вживаним є розрахунковий метод, який оснований на кількісній оцінці елементів прибуткової та видаткової частин гідрохімічного балансу. Цей метод дає найбільш достовірні результати для відносно консервативних речовин, як головні іони та мінералізація.

На основі рівнянь водного і сольового балансу для прогнозу мінералізації та вмісту головних іонів у воді водоймищ-охолоджувачів АЕС прийнята розрахункова формула Бочкова-Попова [6]:

$$M_k = \frac{M_{\Pi} W_{\Pi} + M_{\text{пр}} W_{\text{пр}} - 0,5M_{\Pi} W_{\text{в}}}{W_{\Pi} + W_{\text{пр}} - W_{\text{вип}} - 0,5W_{\text{в}}}, \quad (1)$$

де M_k – середня для водосховища очікувана мінералізація води у кінці розрахункового періоду; M_{Π} , $M_{\text{пр}}$, $M_{\text{в}}$ – середня для водосховища мінералізація води на початку розрахункового періоду, середньозважена за об'ємом мінералізація всіх видів припливу та витоків із нього; W_{Π} , $W_{\text{пр}}$, $W_{\text{в}}$ – об'єм води у водосховищі на початку розрахункового періоду, об'єм води припливу та витрати (крім випаровування); $W_{\text{вип}}$ – об'єм води на випаровування з поверхні водного дзеркала за розрахунковий період.

У формулі (1) прийнято умовне припущення, що води припливу повністю перемішуються.

Аналіз речовинно-енергетичних «входів» та «виходів» гідрохімічної системи здійснюється на підставі виявлених джерел надходження та виведення речовин та енергії до(з) водного об'єкту. Кількісні та якісні характеристики виявлених джерел є підставою для складання рівняння гідрохімічного балансу.

Система технологічного водопостачання комбінату являє собою замкнутий оборотний цикл, роботу якого забезпечують стаціонарна насосна станція, що подає споживачам освітлену воду (700 млн. м³/рік), дві пульпонасосні станції, що відводять відходи збагачення у хвостосховище та система трубопроводів [4].

Для системи оборотного водопостачання комбінату подаються промислові стічні води котельень – до 0,5 млн. м³/рік; відкачується вода з Анівського та Першотравенського кар'єрів – 2,4 млн. м³/рік і 3,2 млн. м³/рік.

У силу неминучості втрат оборотної води у технологічному процесі на випаровування з водної поверхні хвостосховища і водойми, фільтрацію і т.і. виникає необхідність у підживленні систем водопостачання комбінату із зовнішніх джерел, якими служать суміш шахтних вод Північної групи рудників Кривбасу, що відводяться в прийомні резервуари-відстійники насосною станцією №8 ПП «Кривбаспромводопостачання». Крім цього, у

водно-господарському балансі хвостосховища враховують середньорічний приплив атмосферних опадів і поверхневий стік, що складає за даними метеобюро м. Кривий Ріг до 7 млн. м³/рік.

Руда, що видобувається у кар'єрах, доставляється на збагачувальні фабрики, де вона подрібнюється. Подрібнена руда збагачується методом мокрої магнітної сепарації з вилученням концентрату. Відходи збагачення, що утворилися, у вигляді хвостової пульпи системою самопливних лотків, пульпонасосних станцій і напірних трубопроводів подаються в хвостосховище (рис.2).

Баланс води у хвостосховищі складається з прибуткової частини (пульпи від гідротранспорту хвостів, шахтних і кар'єрних вод, промислових стічних вод водогрійної і парових котелень, господарсько-побутових стічних вод, опадів, повернення фільтраційних вод), а також витратної частини (втрат води у хвостосховищі і системи виробничого водопостачання комбінату тощо).

Розрахункова формула для визначення концентрацій будь-якого елемента у воді водойми хвостосховища з урахуванням повного перемішування та формули (1) має вигляд:

$$C_{\text{ХВ}}^{i+1} = \frac{C_{\text{ХВ}}^i V_{\text{ХВ}}^i + C_{\text{T}}^i \Phi^i + \sum C_{\text{пр.}}^i Q_{\text{пр.}}^i - 0,5(C_{\text{ХВ}}^i \sum Q_{\text{вит}})}{V_{\text{ХВ}}^{i+1} + \sum Q_{\text{пр.}}^i - V_{\text{вип}} - 0,5 \sum Q_{\text{вит}}}, \quad (2)$$

де $C_{\text{ХВ}}^{i+1}$ - прогнозна концентрація вмісту будь-якого компонента у воді хвостосховища на кінець розрахункового періоду, мг/дм³; $C_{\text{ХВ}}^i$ - концентрація вмісту будь-якого компонента у воді хвостосховища на початок розрахункового періоду, мг/дм³; $V_{\text{ХВ}}^i$ - об'єм води в хвостосховищі (з урахуванням об'єму заповнення пор) на початок періоду, млн. м³; C_{T}^i - концентрація компонента, що вилуговується з руди в процесі збагачення, мг/т; Φ^i - продуктивність комбінату по сирій руді (48,8 т/рік); $\sum C_{\text{пр.}}^i Q_{\text{пр.}}^i$ - сума добутків об'ємів ($Q_{\text{пр.}}^i$) води, що надходить у хвостосховище (в млн. м³) на концентрацію компонента в цих водах ($C_{\text{пр.}}^i$ у мг/дм³) (табл. 1); $V_{\text{вип}}$ - витрати на випаровування, (4,5 млн. м³); $\sum Q_{\text{вит}}^i$ - загальна величина втрат, що складається з : загальної величина фільтраційних втрат - 9,83 млн. м³; об'єму, що втрачається на заповнення пор хвостів - 7,8 млн. м³; об'єму, що скидається із хвостосховища у поверхневі водотоки - 6,8 млн. м³.

Концентрації компонентів, що вилуговуються з руди в процесі збагачення (C_{T}^i), мг/т : Ca²⁺ - 49,2; Mg²⁺ - 12,6; K⁺+Na⁺ - 22,1; Cl⁻ - 23,5; SO₄²⁻ - 180,0; мінералізація - 287,4.

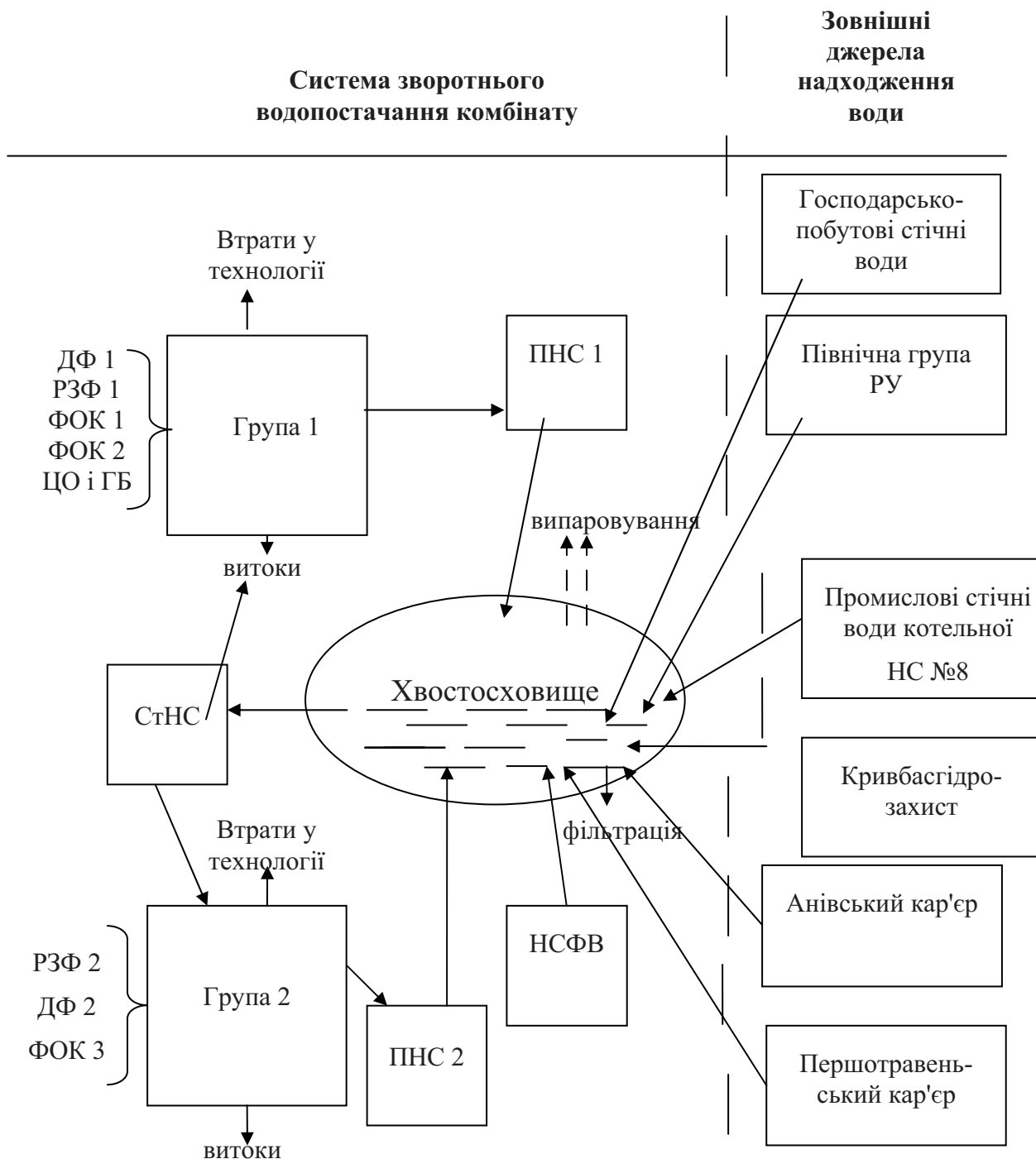


Рис.2. Принципова схема водопостачання ПівнГЗКа

Примітка до рис. 2. ДФ – дробильна фабрика; ФОК(1,2,3) – фабрика обпалювання концентрату; РЗФ(1,2) – рудозбагачувальні фабрики; ЦО і ГБ – цех обпалювання і гарячого брикетування; ПНС(1,2) – пульпонасосні станції; НСФВ – насосна станція фільтраційних вод; СтНС – стаціонарна насосна станція.

Прогноз хімічного складу води в хвостосховищі на 2010 р. наведено у табл. 2.

Як видно з порівняння таблиць 1 та 2, експлуатація хвостосховища у даному режимі призводить до збільшення вмісту усіх головних іонів та мінералізації. Найбільший внесок мають шахтні води.

Таблиця 1. Складові прибуткової частини гідрохімічного балансу, 2009 р.

Назва об'єкту	Об'єм, млн. м ³	Концентрації, мг/дм ³ (С ⁱ)						
		Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺ +Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Мінералізація
Хвостосховище (V _{ХВ} ⁱ)	195,0	344,7	415,9	5329,9	5981,0	1063,0	177,0	13311
Води, що надходять у хвостосховище з різних джерел								
Шахта ім. Леніна	0,4	431,0	590,2	5490,0	9980,0	1232,5	189,2	17682,0
Шахта «Центральна»	0,55	635,2	752,3	9366,2	17170,2	1161,2	153,6	29125,6
Шахта «Гвардійська»	5,2	761,2	1192,5	13235,8	24111,0	15,4	122,5	40935,0
Промислові стічні води котельної	0,5	660,3	220,4	231,5	550,6	630,4	2210,7	4550,3
Кар'єр Першотравенський	2,4	170,2	126,3	861,1	913,5	1125,3	460,7	3655,1
Кар'єр Анівський	3,2	212,4	160,2	597,6	683,1	990,0	635,7	3277,4
Поверхневий стік	7,0	60,2	20,5	44,1	40,3	120,0	190,3	474,3
Господарсько- побутові стічні води	9,6	60,0	24,1	223,9	400,0	43,2	160,0	910,2

Таблиця 2. Прогнозний хімічний склад води у водоймі хвостосховища на 2010 р.

Компоненти	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺ +Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Мінералізація
Вміст, мг/дм ³	349,0	433,1	5420,9	5996,0	1022,2	194,4	13415,7

Негативний вплив хвостосховища на поверхневі води безупинно зростає, але прямий скид вод із хвостосховища у річку Саксагань чинить найбільш відчутний екологічний збиток. Тому, екологічною службою ПівніЗКА було запропоновано і впроваджено виведення господарсько-побутових стічних вод із системи водопостачання хвостосховища з метою припинення або зменшення скиду води у річку. Господарсько-побутові стічні води є лише одним із джерел розбавлення високомінералізованих шахтних вод та технічних вод зі збагачувальних фабрик, які скидаються у хвостосховище. Виведення господарсько-побутових стічних вод із системи водопостачання призвело до значної зміни хімічного складу води у водоймі хвостосховища (табл. 3).

Таблиця 3. Прогнозний хімічний склад води у водоймі хвостосховища при виведенні із водопостачання господарсько-побутових стічних вод

Компоненти	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺ +Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Мінералізація
Вміст, мг/дм ³	358,9	440,3	5515,7	6200,5	1053,9	194,2	13763,6

При впровадженні даної пропозиції збільшився вміст усіх головних іонів та мінералізація. Внаслідок цього гідрохімічні рівноваги у воді водойми порушилися і вона стала агресивною до матеріалів насосного устаткування та пульпопроводів.

Висновки. Хвостосховища є потужною гідрохімічною аномалією на території гірничо-збагачуваних комбінатів Кривбасу, зокрема Північного гірничо-збагачувального комбінату. Мінералізація води у водоймі хвостосховища та вміст головних іонів значно (у 5-7 разів) перевищує такий у природних поверхневих водотоках даної території [10]. Прогнозні розрахунки, виконані на основі аналізу гідрохімічного балансу, показують, що за умов даного режиму експлуатації хвостосховища, а саме кількісних та якісних характеристик «входів» та «виходів» гідрохімічної системи, відбувається поступове збільшення вмісту головних іонів та мінералізації, тобто гідрохімічна система не досягла рівноважного стану і на даний час продовжує свій розвиток.

Вилучення із системи водопостачання хвостосховища окремих елементів балансу повинно обґрунтовуватися докладними гідрохімічними розрахунками.

Як основний захід щодо запобігання забруднення води у р. Саксагань може бути рекомендовано відмову від скиду у неї вод із хвостосховища або попередня демінералізація цих вод.

У разі продовження скидання мінералізованих вод із хвостосховища, неминучі необоротні зміни гідрохімічного режиму р. Саксагань, усунення яких буде потребувати інженерних заходів із значними матеріальними вкладеннями.

Список літератури

1. *Торгоев И.А.* Экология горнопромышленного комплекса Кыргызстан / И.А. Торгоев, Ю.Г. Алешин. – Бишкек : Илим, 2001. – 182 с.
2. *Пузанов А.В.* Тяжелые металлы в компонентах техногенных озер Алтайского ГОКа / А.В.Пузанов, Рождественская Т.А., Горбачев И.В. // Мир науки, культуры, образования. – 2009. – №2 (14). – С.11–14.
3. *Бичукина И.А.* Методические основы системы комплексного экологического мониторинга промышленной площадки медеплавильного комбината (на примере ОАО «Святогор»): автореф. дисс. на соискание уч. степени канд. геол.-мин. наук : спец. 25.00.36. – Екатеринбург, 2008. – 20 с.
4. Прогноз влияния хвостохранилища СевГОКа на водные ресурсы, разработка технологического регламента по охране водного бассейна от загрязнения. Отчет о НИР / НовоТЭК–2, 1991 – 68 с.
5. *Євтушенко М.Ю.* Оцінка впливу техногенних навантажень на екологічний стан водогосподарської системи річок Інгулець і Саксагань з урахуванням щорічного скиду надлишків зворотних вод гірничорудних підприємств Кривбасу / М.Ю. Євтушенко, М.О. Захаренко, П.Г. Шевченко. – К.: ІГБ НАНУ, 2001. – 157 с.
6. *Ромась М.І.* Гідрохімія водних об'єктів атомної і теплової енергетики : монографія / М.І. Ромась. – К.: ВПЦ «Київський університет», 2002. – 532 с.
7. *Сніжко С.І.* Теорія і методи аналізу регіональних гідрохімічних систем : монографія / С.І. Сніжко. – К.: Ніка-Центр, 2006. – 284 с.
8. *Недрига В.П.* Гидротехнические сооружения (справочник проектировщика) / В.П. Недрига. – М. : Стройиздат, 1983. – 543 с.
9. Заключение по годовому отчету геотехногенного контроля за эксплуатацией сооружений хвостового хозяйства и оборотного водоснабжения за 2009 год / Северный горно-обогатительный комбинат, 2010. – 35 с.
10. *Шерстюк Н.П.* Вплив гірничовидобувної промисловості на міграційні властивості головних іонів у поверхневих водах / Н.П.Шерстюк // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2010. - №4(21). – С.92 – 105.

Прогнозування мінералізації та вмісту головних іонів у воді водойми хвостосховища Північного гірничо-збагачувального комбінату (Кривбас)

Шерстюк Н.П.

Розглянуті основні принципи складання гідрохімічного прогнозу техногенних водойм на основі рівнянь водно-солевого балансу. Складений прогноз вмісту головних іонів та мінералізації у воді ставка хвостосховища Північного гірничо-збагачувального комбінату.

Ключові слова: хвостосховище; техногенні води; змішування; гідрохімічний баланс; мінералізація; головні іони.

Прогнозирование минерализации и содержания главных ионов в воде водоема хвостохранилища Северного горно-обогатительного комбината (Кривбас)

Шерстюк Н.П.

Рассмотрены основные принципы составления гидрохимического прогноза техногенных водоемов на основе уравнений водно-солевого баланса. Составлен прогноз содержания главных ионов и минерализации в воде пруда хвостохранилища Северного горно-обогатительного комбината.

Ключевые слова: хвостохранилище; техногенные воды; смешивание; гидрохимический баланс; минерализация; главные ионы.

Prognostication of mineralization and maintenance of main ions is in water of pond of repository of waste water of the North mining-concentration combine (Cryvbas)

Sherstyuk N.P.

Basic principles of drafting of hydrochemical prognosis of technogenic reservoirs are considered on the basis of equalizations of water-salt balance. The prognosis of maintenance of main ions and mineralization is made in water of pond of repository of waste water a of the North mining-concentration combine.

Keywords: repository of waste water; technogenic waters; mixing; hydrochemical balance; mineralization; main ions.

Надійшла до редколегії 17.01.11

УДК [(574.64:556.114)+546.62](28)

Жежеря В.А., Линник П.М.

Институт гідробиології НАН України, м. Київ

СПВІСНУЮЧІ ФОРМИ АЛЮМІНІУ У ВОДІ КИЛІЙСЬКОЇ ДЕЛЬТИ ДУНАЮ

Ключові слова: Килійська дельта Дунаю; алюміній; форми знаходження; зависть; органічні речовини

Постановка та актуальність проблеми. В поверхневих водах Al(III) знаходиться в розчиненій, колоїдній і завислій формах. Міграційна здатність цього металу, як і багатьох інших, залежить від форми знаходження у воді. Якщо переважає зависла форма, то можна стверджувати про незначну міграційну здатність алюмінію та практично повну відсутність його впливу

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2011. – Т.1(22)