

ЕКОЛОГО-ГЕОХІМІЧНІ ПРОБЛЕМИ РОЗРОБКИ ГЛИБОКИХ ГОРИЗОНТІВ ЗАЛІЗОРУДНИХ РОДОВИЩ У КРИВОРІЗЬКОМУ РУДНОМУ РАЙОНІ

О.В. Плотніков, В.С. Стапай, В.В. Єфіменко

Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет»

50027, вулиця Віталія Матусевича, 11, м. Кривий Ріг, Україна

E-mail: magnetit@meta.ua

Наведене теоретичне узагальнення і нове вирішення актуального для України наукового завдання, яке полягає у зменшенні екологічного навантаження на геологічне середовище у процесі розробки покладів залізних руд на глибоких горизонтах гірничих робіт на основі виявлення й урахування геологічних чинників забруднення навколишнього середовища.

Ключові слова: залізорудні родовища, екологічна безпека, гідрогеохімічний режим підземних вод.

Вступ. Криворізький залізорудний район, (загальна площа якого становить близько 300 км², належить до регіонів із критичним станом довкілля. Екологічні проблеми тут накопичувались протягом декількох десятиліть унаслідок використання недосконалих технологій гірничодобувних робіт на великій площі і накопичення на поверхні значного обсягу твердих і рідких відходів видобутку і збагачення залізних руд [1]. Дев'ять великих залізорудних кар'єрів і багато дрібних кар'єрів для видобутку залізної руди і неметалевих корисних копалин району займають площу близько 50 км². У зонах їх розташування крім техногенного перетворення природного рельєфу розвиваються схилі процеси – обвали, зсуви, лінійна ерозія. Зони обвалів шахтних полів сягають майже 40 км², відвали розкривних порід кар'єрів і шахт – понад 100 км². Відвали, які займають, як правило, колишні орні землі, акумулюють значну кількість атмосферних опадів, що спричиняє підтоплення прилеглих територій, розвиток зсувів та інших видів екзогенних геологічних процесів. Найдинамічнішим фактором, який здатний різко підсилювати вплив на довкілля всіх інших факторів і визначати загальну екологічну ситуацію в районі, є порушення гідрогеохімічного режиму його території. Спровокувати його може закриття шахт, що призведе до затоплення гірничих виробок і підйому рівня підземних вод за межами гірничих відводів, додаткове просідання земної поверхні, посилення міграції забруднених мінералізованих вод та небезпечних газів, спричинене порушенням водотривких пластів.

Виходячи із зазначеного, об'єктом досліджень обрано залізорудні родовища Криворізького району. **Предмет досліджень** – гідрогеохімічний

режим полів шахт і кар'єрів на глибоких горизонтах гірничих робіт.

Мета дослідження: установити еколого-геохімічні фактори, які впливають на забруднення геологічного середовища під час розробки глибоких горизонтів залізорудних родовищ у Криворізькому рудному районі, дати їх кількісну оцінку і розробити заходи зі зменшення екологічного навантаження на довкілля.

Методи досліджень. У роботі був застосований широкий комплекс методів досліджень. Для визначення шляхів міграції хімічних елементів у водних розчинах застосовано методи геолого-структурного картування тріщин і розломів порід криворізької серії. Для виявлення причин, які впливають на зміну ізотопного складу вод глибоких горизонтів, був застосований апарат факторного аналізу. Для встановлення залежностей між ізотопним і хімічним складом підземних вод використано метод кореляційного аналізу.

Результати та обговорення. Міграція хімічних елементів у водних розчинах порід криворізької серії відбувається по зонах розривних порушень. Тріщино-розломна тектоніка Криворізького рудного району описана у багатьох працях [2–5 та ін.]. Їх аналіз дає змогу виділити риси, які впливають на міграцію та акумуляцію хімічних елементів:

– загальна структура Криворізького залізорудного району має складну лускувату будову, обумовлену розвитком Криворізько-Кременчуцького глибинного розлому;

– внутрішня будова Криворізько-Кременчуцького глибинного розлому має ієрархічну будову, обумовлену наявністю розривних порушень другого та третього порядків;

– найбільші складки першого порядку: Лихманівська, Основна, Тернівська, Жовторічен-

ська синкліналі, є конседиментаційними, успадкованими від архейських зеленокам'яних поясів Центрального Придніпров'я;

– складки другого порядку: Саксаганська синкліналь, Саксаганська антикліналь, Тарапаківська антикліналь, Інгулецька антикліналь, Новокриворізька синкліналь є наслідком розвитку Криворізько-Кременчуцького глибинного розлому та закладені в період фази стиску;

– складки вищих порядків виникли внаслідок розвитку розривних порушень другого, третього та четвертого порядків зони Криворізько-Кременчуцького глибинного розлому і є результатом зсувно-насувних деформацій;

– для виявлення шляхів міграції та акумуляції хімічних елементів у межах Криворізького рудного району доцільно виділити три основні групи тектонічних порушень: 1) субмеридіональні, узгоджені з загальним простяганням головних складчастих структур; 2) діагональні; 3) субширотні.

Особливо важливим є питання міграції хімічних елементів у водних розчинах по зонах регіональних розломів. Солоні розчини кристалічної основи є агресивнішими і суттєво забруднюють хімічними елементами гданцевську та саксаганську світи.

Аналіз морфології та будови розривних порушень у Криворізькому рудному районі допоміг виявити таке:

– розривні порушення Криворізького рудного району розрізняються не лише за просторовим положенням, але й за морфологією, внутрішньою будовою, умовами утворення;

– діагональні розривні порушення, які оперюють розломи першого порядку, розвивались в умовах стискання земної кори і тому не можуть бути шляхами міграції підземних вод;

– поперечні розривні порушення розвивалися в умовах розтягання земної кори, однак у більшості випадків посттектонічні гідротермальні процеси обумовили їх «заліковування», що також виключає їх роль як провідників руху підземних вод;

– підземні води у кристалічному фундаменті можуть рухатись по розривних порушеннях субмеридіонального простягання ($0-5^{\circ}$, $15-20^{\circ}$).

Для виявлення закономірностей міграції хімічних елементів у водних розчинах на території Криворізького залізорудного району проаналізовано дані щодо ізотопного складу підземних, поверхневих та шахтних вод деяких ділянок. Для вивчення шляхів фільтрації вод, проаналізовано та статистично оброблено дані щодо ізотопних кон-

центрацій ^{222}Rn , ^{224}Ra , ^{226}Ra , ^{228}Ra , U , $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ у поверхневих, шахтних та підземних водах. Поверхневі та підземні води Криворізького залізорудного району різняться за концентрацією радіоактивних ізотопів, що дають змогу дослідити їхній рух по розломних зонах та спрогнозувати процеси переносу солей у водних розчинах у гданцевській та саксаганській світах.

Аналіз вищеназаних показників підтвердив, що шляхами руху сольових розчинів є система тектонічних порушень (розломів різних порядків), по яких води поверхневих джерел надходять до гданцевської та саксаганської світ. У зонах розломів породи характеризуються значною обводненістю і високими водно-фільтраційними властивостями. Розподіл концентрацій радону у річних водах свідчить про практичну відсутність висхідного розвантаження вод гданцевської та саксаганської світ до річок Інгулець та Саксагань. С деякою мірою вірогідності таке розвантаження можна прогнозувати лише в зоні динамічного впливу Новокриворізького розлому. Найбільше надходження річних вод до водоносного горизонту гданцевської світи відбувається в зоні Тарапаківського розлому поблизу русла р. Інгулець, де частка річкових вод становить біля 85 % (оцінка за радієм). Найпомітніші зміни радіологічних параметрів вод спостерігаються в свердловинах, які перетинають зони розломів. Швидкість руху річкових вод по зоні Тарапаківського розлому, оцінена за накопиченням ізотопу ^{224}Ra , не перевищує 4 м/добу. Поблизу Новокриворізького розлому води р. Саксагань через товщу осадових покладів надходять у породи гданцевської світи. Води Соленого озера фільтруються по Тарапаківському розлому і, враховуючи будову розлому, доходять до глибини 800–1200 м. Води кар'єру ім. Калініна по поперечних та діагональних розломах вищих порядків досягають зони Південно-Східного розлому і фіксуються спостережувальними свердловинами на глибині до –700 м. Оскільки у поверхневі водні джерела скидаються шахтні води, то можна зробити висновок про повернення цих сольових розчинів у гданцевську та саксаганську світи.

У межах Криворізького рудного району із різних поверхневих джерел фільтрація вод відбувається лише в східному напрямку, досягнувши основних розривних порушень району води по них рухаються на південь.

Обводнення гірничих виробок шахт відбувається, переважно, за рахунок водоносного горизонту порід криворізької серії. Води, які потрап-

ляють у шахтні виробки, надходять із горизонту –800...–1300 м. Аналіз зміни хімічного складу шахтних вод з глибиною допоміг, виявити що:

– з глибиною в шахтних водах спостерігається зменшення вмісту гідрокарбонат-аніону до повної відсутності після 1000 м; води, в яких присутній гідрокарбонат-аніон (води горизонтів до –700 м) мають найменшу мінералізацію та найменший вміст важких ізотопів кисню;

– ґрунтові води та води верхніх горизонтів характеризуються підвищеним вмістом іонів кальцію, магнію, сульфат-аніонів та гідрокарбонат-аніону;

– у разі поглиблення гірничих виробок мінералізація зростає внаслідок підвищення концентрацій іонів натрію, калію та хлору, тобто на глибині понад 1000 м вода має чіткий хлоридно-натрієвий тип, окрім цього у шахтних водах підвищується вміст важких ізотопів кисню;

– підвищення мінералізації призводить до підвищення вмісту радону та зменшення вмісту урану (підвищений вміст іонів натрію та хлору підвищує концентрацію радону, а підвищення вмісту іонів кальцію та сульфат-аніонів – урану);

– підвищений вміст у шахтних водах важких ізотопів кисню призводить до зменшення концентрації ^{224}Ra , ^{226}Ra , ^{228}Ra та відношень урану;

– у водах свердловин на глибині до –700 м підвищення мінералізації за рахунок іонів натрію, магнію та хлору призводить до підвищення вмісту ^{228}Ra та відношень урану.

Аналіз радіохімічного складу шахтних вод, який відображає результати змішування древніх седиментаційних вод з місцевим інфільтраційним потоком, підтверджує гіпотезу про міграцію мінералізованих хлоридно-натрієвих вод глибоких горизонтів Дніпровсько-Донецької западини в породи Українського щита по зонах регіональних розломів.

Для виявлення причин, які впливають на зміну ізотопного складу вод глибоких свердловин (до –700 м) виконано факторний аналіз, який показав, що мінливість ізотопного складу вод визначається переважно впливом одного фактору (88,14 % дисперсії). Кореляційний аналіз залежності ізотопного складу вод від хімічного, дає змогу інтерпретувати цей фактор як підвищення мінералізації за рахунок іонів натрію та магнію, що призводить до підвищення вмісту ^{228}Ra та значень $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$. Зменшення мінералізації за переважання іонів кальцію та гідрокарбонат-аніонів сприяє підвищенню концентрацій ^{226}Ra .

Факторний аналіз вод горизонту –800...–1200 м показав, що їхній ізотопний склад визначений переважно двома факторами. Перший фактор інтерпретується як фільтрація по зоні Тарапаківського розлому вод Соленого озера. Кореляційний аналіз також підтверджує взаємозв'язок цих ізотопів. Другий фактор – це хімічний склад підземних вод: зменшення з глибиною сульфат-іонів, з якими ^{226}Ra випадає в осад, створює можливості для накопичення цього ізотопу у водах цих горизонтів.

Зміни хімічного складу вод свердловин із глибиною ідентичні аналогічним змінам у шахтних водах: підвищення вмісту іонів хлору та натрію, зменшення вмісту гідрокарбонат-іонів, іонів кальцію, сульфат-аніонів.

Для виявлення причин, які впливають на хімічний склад вод горизонту 0–600 м був використаний метод головних факторів. Першим, домінатним, фактором є надходження вод з поверхневих джерел. Так, залежність підвищення вмісту іонів натрію та сульфат-аніонів, не притаманна шахтним водам, характерна для вод річки Саксагань (коефіцієнт кореляції 0,97). Тобто шахтні води, які скидаються до річки Саксагань, знову потрапляють у водоносні горизонти, звідси, з меншою концентрацією, внаслідок їх розведення річними водами, і дуже суттєво впливають на склад вод горизонту 0–700 м. Другим фактором можна вважати поглиблення свердловин, що призводить до зменшення вмісту в їхніх водах сульфат-аніону та збільшення іонів калію. Факторний аналіз підтверджує різницю у формуванні хімічного складу вод глибоких свердловин різних горизонтів. На горизонті –800...–1300 м формування хімічного складу залежить від одного фактору, який пояснює 78 % дисперсії змінних. Цим фактором, як і в шахтних виробках, можна вважати поглиблення свердловин, які, напевне розкривають суміші древніх седиментаційних вод із переважно хлоридно-натрієвим складом. А фільтраційні потоки з поверхневих джерел на хімічний склад вод нижніх горизонтів суттєво не впливають, оскільки ці води мають меншу концентрацію солей. Таким чином, хімічний склад вод горизонтів понад –700 м залежить від древніх вод, фільтраційні втрати з поверхневих джерел на сольовий склад цих вод суттєво не впливають.

Установлені закономірності руху високомінералізованих розчинів у межах Криворізького регіону допомагають передбачити ділянки накопичення солей. Територіями найбільшого техно-

генного впливу є хвостосховища Північного, Центрального, Новокриворізького, Південного та Інгулецького гірничозбагачувальних комбінатів, що найбільше впливають на засолення підземних і поверхневих вод.

На підставі методики розрахунку сольового балансу [2], із урахуванням статистичних даних була розрахована кількісна характеристика сольового балансу водних ресурсів майже за 30-річний період існування ГЗК (1960–2001 рр.). Отримані такі результати: на територію Криворізького залізорудного басейну надійшло 24,1 млн т солей, видалено з концентратом 1,8 млн т, видалено з водами річок Інгулець та Саксагань 1,47 млн т, накопичено солей на території 20,8 млн т, зокрема у хвостосховищі 8,9 млн т. Розподіл цієї кількості солей по різних ділянках басейну наведений на рис. 1, 2.

Урахувати всі складові, які можуть впливати на процеси накопичення солей та їх видалення, неможливо. Тому отримані в ході досліджень результати характеризуються певною часткою вірогідності, але є підставою для оцінки ступеня забруднення Криворізького рудного району солями та основою для розробки і реалізації програми поліпшення екологічного стану Кривбасу.

У ході експлуатації різних залізорудних родовищ Криворізького рудного району вплив на довкілля неоднаковий. У результаті видобутку 1 т сирової залізної руди кількість солей, що надходить

на територію, коливається у значних межах, кг/т: Інгулецький ГЗК (ІнГЗК) – 3,0, Центральний ГЗК (ЦГЗК) – 4,0, Північний ГЗК (ПівнГЗК) – 5,4, Південний ГЗК (ПівдГЗК) та Новокриворізький ГЗК (НКГЗК) – 10,5. Такі розбіжності необхідно враховувати у геолого-економічній оцінці родовищ, особливо у розрахунках оплати за забруднення навколишнього середовища.

Для виявлення факторів, які впливають на накопичення солей на території басейну, поряд із традиційними методами (кореляційний та регресійний аналіз, метод найменших квадратів), використано багатомірні статистичні методи – факторний аналіз, метод головних компонент, тому що вони дають можливість проаналізувати комплекс ознак, пояснити як глобальні, типові процеси зміни хімічного складу навколишнього середовища, так і специфічні особливості, притаманні деяким із родовищ Кривбасу.

Накопичення хімічних елементів та шляхи міграції сольових розчинів залежать від тектонічних особливостей території, водопроводності й пористості порід, потужності покривних відкладів, площі гірничих виробок, способу розробки, глибини шахт та кар'єрів, тривалості експлуатації. Тектонічні порушення та закарстовані зони, що трапляються на різній глибині, є шляхами циркуляції й джерелами заводнення гірничих виробок, зумовлюють гідравлічний зв'язок між водами всіх

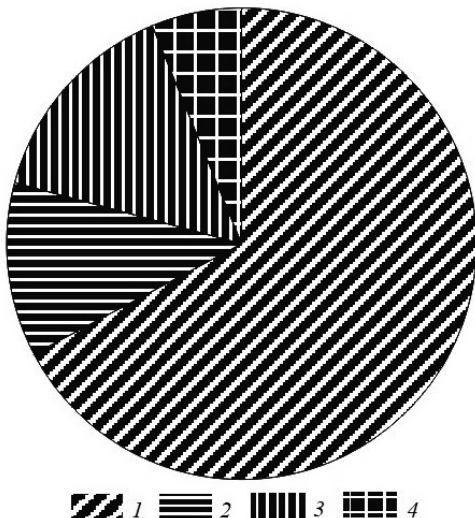


Рис. 1. Накопичення солей на територіях гірничозбагачувальних комбінатів, млн т: 1 – Південний та Новокриворізький ГЗК; 2 – Інгулецький ГЗК; 3 – Північний ГЗК; 4 – Центральний ГЗК

Fig. 1. Salt accumulation in the territories of mining and processing enterprises, million tons: 1 – Southern and Novokrivorozy Mining Plant; 2 – Ingulezky Mining Plant; 3 – Northern Mining Plant; 4 – Central Mining and Processing Plant

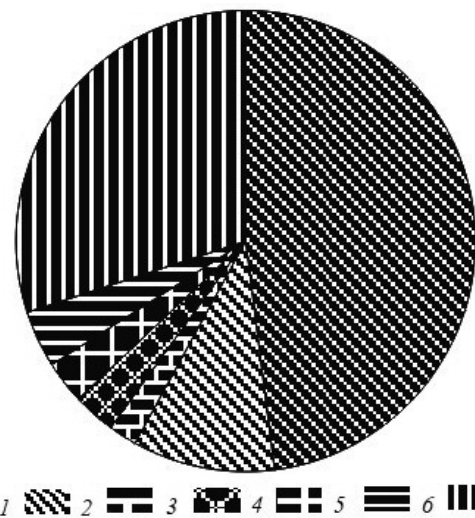


Рис. 2. Співвідношення хімічних елементів у солях, які накопичились у саксаганській та гданцевській світах Криворізького залізорудного басейну: 1 – Cl^- , 2 – SO_4^{2-} , 3 – інші солі, 4 – Ca^{2+} , 5 – Mg^{2+} , 6 – $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, 7 – HCO_3^-

Fig. 2. The ratio of chemical elements in salts that have accumulated in the Saksagan and Gdansk suite of the Krivoy Rog iron ore basin: 1 – Cl^- , 2 – SO_4^{2-} , 3 – інші солі, 4 – Ca^{2+} , 5 – Mg^{2+} , 6 – $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, 7 – HCO_3^-

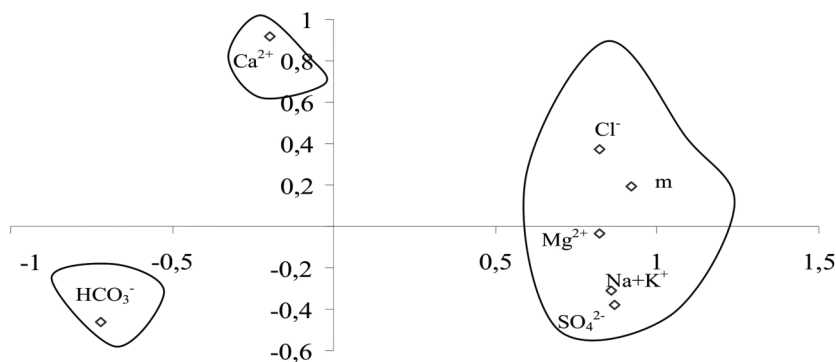


Рис. 3. Діаграма факторних навантажень кількісно-якісного складу вод, які фільтруються з хвостосховищ Криворізького басейну, на вісі перших двох факторів

Fig. 3. Diagram of factor loadings of quantitative and qualitative composition of waters filtered from Kryvbas tailings ponds on the axis of the first two factors

літологічних відмін порід. Формування шахтних вод пов'язане з процесами змішування підземних вод різних горизонтів, впливом на підземні води шахтної атмосфери.

Загальний факторний аналіз кількісно-якісного складу вод, які фільтруються з хвостосховищ Криворізького рудного басейну (рис. 3) допоміг виявити такі тенденції.

Загальна мінералізація підвищується передовсім за рахунок аніонів хлору, а також катіонів магнію, натрію, калію. Ці іони з загальною мінералізацією утворюють чітко відокремлене поле, яке має значне додатне навантаження на вісь першого фактору, що пов'язаний із поглибленням гірничих виробок.

Підвищення катіонів кальцію залежить від другого фактору природного походження, а саме надходження вод, на якісний склад яких впливає розмиття порід, які вміщують кальцій. Цими породами не можуть бути вапняки, оскільки підвищення вмісту катіонів кальцію не призводить до підвищення вмісту гідрокарбонат-аніону, навпаки, підвищення впливу першого та другого факторів призводить до зменшення вмісту цих аніонів. Аналіз статистичних даних і використання методів математичного аналізу не виявили тенденцій, які впливають на зміну вмісту цього аніону. Також до цієї групи факторів слід віднести кількість атмосферних опадів, водопроникність порід.

Факторний аналіз хімічного складу шахтних та кар'єрних вод на різних ділянках басейну майже ідентичний, але деякі ділянки мають специфічні риси, що пов'язано з різномайттям будови цих територій. Підземним водам Кривбасу властиві суттєві відмінності кількісного вмісту основних компонентів, що залежить від літологічного складу порід та характеру водообміну. Такі відмінності виявлені як за площею, так і за вертикальним розміром. Живлення водоносного комплексу осадових відкладів та зони інтенсивної тріщинуватості від-

бувається за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, фільтраційних утрат із поверхневих водотоків і водойм. Нижче від зони інтенсивної тріщинуватості область фільтрації являє собою пласт – смугу з непроникними межами. На заході проходить зона Криворізько-Кременчуцького розлому, на сході Східний насув, по яких підземні води надходять з зони інтенсивної тріщинуватості до водоносної товщі, що залягає нижче; надходження хімічних сполук та солей у верхню та середню світи відбувається за рахунок надходження вод по розломних зонах із Дніпровсько-Донецької западини.

Ураховуючи викладені вище результати, до відомої класифікації геологічних факторів економічної цінності залізрудних родовищ доцільно включити екологічні фактори, які поділити на природничі (кількість водопритоків, загальна мінералізація, водопроникність порід), технологічні (забруднення навколишнього середовища внаслідок недосконалості технології, організації виробництва, зносу основних фондів), еколого-економічні (ставки екологічного податку, норми амортизації, екологічні штрафи та санкції).

Висновки. 1. Аналіз морфології та будови розривних порушень у Криворізькому рудному районі як можливих шляхів міграції хімічних елементів у водних розчинах дав можливість виявити, що:

- діагональні розривні порушення, які оперують розломи першого порядку, розвивалися в умовах стискання земної кори і тому не можуть бути шляхами міграції хімічних елементів у водних розчинах; поперечні розривні порушення розвивалися в умовах розтягання земної кори, однак посттектонічні гідротермальні процеси у багатьох випадках призвели до їх «заліковування», що також виключає їх роль як провідників хімічних елементів у водних розчинах;

- солоні підземні води у породах криворізької серії можуть рухатися по розривних порушеннях субмеридіонального простягання 0–5°, 15–20°.

2. Дослідження з використанням методу радіоактивних ізотопів для вивчення шляхів міграції хімічних елементів у водних розчинах довели, що шляхами руху сольових розчинів є система тектонічних порушень (розломів різних порядків), по яких води поверхневих джерел надходять до порід криворізької серії. Фільтрація відбувається лише в східному напрямку, за досягнення зон основних розривних порушень району сольові розчини по них рухаються на південь.

3. Основними ділянками акумуляції солей є території хвостосховищ Північного, Центрального, Новокриворізького, Південного та Інгулецького гірничозбагачувальних комбінатів, до яких протягом 1960–2001 рр. надійшло 24,1 млн т солей, видалено з концентратом 1,8 млн т, з водами річок Саксагань та Інгулець – 1,5 млн т, накопичено на території – 20,8 млн т, зокрема у хвостосховищах – 8,9 млн т. Переважну кількість у накопичених солях складають іони натрію, калію та хлору.

4. Аналіз балансу засолення порід гданцевської та саксаганської світ криворізької серії показав, що у разі видобутку 1 т сирової залізної руди

кількість солей, що надходять на територію, коливається у великих межах, кг/т: ІнГЗК – 7,23, ЦГЗК – 10,32; ПівнГЗК – 12,67; ПівдГЗК та НКГЗК – 25,14. Ураховуючи обсяги виробництва товарної залізної руди, відсотковий внесок у загальне засолення верхньої та середньої світ по цих підприємствах складає, %: ЦГЗК – 6,81, ІнГЗК – 13,88, ПівнГЗК – 17,73, ПівдГЗК та НКГЗК – 61,58.

5. Застосування апарату факторного аналізу сольового складу вод, які потрапляють та фільтруються з хвостосховищ гірничозбагачувальних комбінатів, поміг виявити дві групи факторів, які впливають на кількісно-якісні параметри цих вод: це фактори природного походження (розмиття порід, кількість атмосферних опадів, водопроникність порід) та фактори, пов'язані з поглибленням гірничих виробок. Ураховуючи результати факторного аналізу та обсяги забруднення навколишнього середовища внаслідок гірничодобувних робіт, до класифікації геологічних факторів, які визначають економічну цінність родовищ залізистих кварцитів, необхідно додати екологічні.

Список літератури

1. Багрій І.Д., Блінов П.В., Белокопитова Н.А. та ін. Геоекологічні проблеми Криворізького басейну в умовах реструктуризації гірничодобувної галузі. Київ: Фенікс, 2002. 192 с.
2. Бетин Д.И., Толкачев Ф.К. Солевой баланс поверхностных и подземных вод в зоне влияния СевГОКа. Проблемы горно-добывающей промышленности металлургического комплекса Украины. Кривой Рог, 1994. С. 217–221.
3. Галецький Л.С., Черновський М.І., Плотников О.В., Науменко У.З. Особливості просторового розвитку складчатості в Криворізькому рудному районі. *Геологічний журнал*. 1996. № 1–2. С. 178–182.
4. Геологическое строение и железные руды Криворожского бассейна / Под ред. Я.Н. Белевцева. Москва. Гос. науч.-техн. изд-во лит. по геол. и охране недр, 1957. 279 с.
5. Плотников А.В. Тектоническое строение и развитие Криворожского рудного района как зоны глубинного разлома. *Геотектоника*. 1994. № 2. С. 33–48.

References

1. Bagriy, I.D., Blinov, P.V., Belokopitova, N.A. (2002), Geo-ecological problems of the Kryvyi Rih basin in conditions of restructuring of the mining industry. Kyiv, Feniks. 192 p. [in Ukrainian].
2. Betin, D.I., Tolkachov, F.K. (1994), Salt balance of surface and groundwater in the zone of influence of SevGOK. Krivoy Rog. NIGRI. pp. 217–221 [in Russian].
3. Galezkiy, L.S., Chernovskiy, M.I., Plotnikov, O.V., Naumenko, U.Z. (1996), Features of spatial development of folding in Krivy Rih ore area. *Geological Journal (Ukraine)*. No. 1-2, pp. 178–182. [in Ukrainian].
4. Geological structure and iron ores of the Krivoy Rog basin (1957) / Ya.N. Belevzev. Moscow, State Scientific and Technical Publishing House of Literature on Geology and Mineral Protection, 279 p. [in Russian].
5. Plotnikov, A.V. (1994), Tectonic structure and development of the Krivorozhsky ore district as a zone of deep fault. *Geotektoniks*, No. 2, pp. 33–48 [in Russian].

Плотников А.В., Стапай В.С., Ефименко В.В.

*Криворожский национальный университет
50027, ул. Виталия Матусевича, 11, г. Кривой Рог, Украина*

Еколого-геохімічні проблеми розробки глибоких горизонтів залізрудних родовищ у Криворізькому рудному районі

Изложено теоретическое обобщение и новые решения актуального для Украины научного задания, состоящего в уменьшении экологической нагрузки на геологическую среду в процессе разработки железных руд на глубоких горизонтах горных работ на основе выявления и учитывания геологических факторов загрязнения окружающей среды.

Ключові слова: залізрудні родовища, екологічна безпека, гідрогеохімічний режим підземних вод.

Plotnikov O.V., Stapay V.S., Efimenko V.V.

Krivoy Rog National University

Vitaly Matusevich str., 11, Kryvyi Rih, Ukraine, 50027

Environmental-Geochemical Problems of Development of Deep Horizons of Iron Ore Deposits in the Krivoy Ore Region

The theoretical generalization and a new solution of the actual scientific problem for Ukraine, which consists in reducing the ecological load on the geological environment in the development of iron ore deposits at the deep horizons of mining operations based on the detection and consideration of geological factors of environmental pollution.

Analysis of the morphology and structure of discontinuous disturbances in the Krivoy Rog ore area as possible ways of migration of chemical elements in aqueous solutions revealed the following:

— diagonal breaking faults that underlie first-order faults developed under conditions of compression of the earth's crust and therefore cannot be pathways for the migration of chemical elements in aqueous solutions; transverse rupture disturbances developed under conditions of the Earth's crust, but post-tectonic hydrothermal processes in many cases led to their "healing", which also precludes their role as conductors of chemical elements in aqueous solutions;

— saline groundwater in the rocks can move along discontinuous disturbances of sub-meridional extension 0-50°, 15-200°.

Analysis of the morphology and structure of discontinuous disturbances in Krivoy Rog Research using the method of radioactive isotopes in the study of migration pathways of chemical elements in aqueous solutions proved that the paths of saline solutions are a system of tectonic disturbances (fractures of different orders), through which the waters of surface sources come to series. Filtration occurs only in the eastern direction, when reaching the areas of major discontinuous disturbances of the area, saline solutions along them move south.

The main sites of salt accumulation are the territories of the tailing ponds of the North, Central, Novokrivizhzhya, South and Ingulets mining and processing plants, which received 24.1 million tons during the period 1960-2001. salts, removed with a concentrate of 1.8 million tons, with the waters of the Saksagan and Ingulets rivers - 1.5 million tons, accumulated in the territory - 20.8 million tons, including in the tailings - 8.9 million .t. The prevailing amounts in the accumulated salts are sodium, potassium and chlorine ions.

The use of the apparatus of factor analysis of the salt composition of the waters falling and filtered from the tailings of the mining and processing enterprises allowed to identify two groups of factors that influence the quantitative and qualitative parameters of these waters: these are factors of natural origin (blurring of rocks, amount of atmospheric precipitation, water permeability) which are associated with the deepening of mining. Considering the results of factor analysis and the extent of environmental pollution due to mining operations, ecological should be added to the classification of geological factors that determine the economic value of iron quartzite deposits.

Keywords: iron ore deposits, ecological safety, hydrogeochemical regime of groundwater.

Надійшла 30.09.2019.