

УДК 553.068.5:556.491(477.63)

МІНЕРАЛЬНИЙ СКЛАД ТА ГІДРОГЕОЛОГІЧНІ УМОВИ ВИДОБУТКУ ТИТАН-ЦИРКОНІЄВИХ РУД У МЕЖАХ ОБВОДНЕНОЇ ЧАСТИНИ МАЛИШІВСЬКОГО РОДОВИЩА (УКРАЇНСЬКИЙ ШИТ)

А. Гайдін¹, В. Дяків², І. Чікова¹

¹Науковий центр Інституту гірничо-хімічної сировини,
вул. Стрийська, 98, 79026 м. Львів, Україна

²Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Грушевського, 4, 79005 м. Львів, Україна
E-mail: dyakivw@yahoo.com

Досліджено обводнені ділянки Малишівського титан-цирконієвого родовища, розташованого в межах Середньопридніпровського мегаблока Українського щита. Визначено, що в гідрогеологічному розрізі рудний пласт залягає тут нижче від рівня підземних вод. На підставі результатів гідрогеологічного моделювання з використанням загальнодоступної версії пакета програм Visual Modflow розроблено окремі цифрові моделі четвертинного водоносного горизонту і водоносного комплексу в неогенових відкладах. За результатами коригування моделей визначено фільтраційні параметри складових гідрогеологічного розрізу. З'ясовано, що водоприток з неогенового водоносного комплексу у разі заповнених водойм становить від 360 до 2 750 м³/добу, а за спорожнених – від 124 до 142 м³/добу. Притік підземних вод незначний, на порядки менший, ніж можливий притік зливових вод. Спорудження тимчасових водойм у балках обмежує розвиток депресійної лійки навколо кар'єру. Труднощі в осушенні кар'єру зумовлені низькою проникністю й водовіддачею відкладів полтавської серії, тому рекомендовано застосовувати гідромеханічний спосіб розробки родовища.

Ключові слова: ільменіт, циркон, Малишівське титан-цирконієве родовище, розсипи, полтавська серія, гідрогеологічні умови, фільтраційні параметри, цифрове моделювання, Український щит.

Україна має великі запаси титан-цирконієвих руд та є одним з найбільших у світі виробників ільменітового й цирконієвих концентратів. Зокрема, серед країн колишнього СРСР Україна посідає перше місце за розвіданими запасами титанових руд і випуском концентрату. Для утримання лідерських позицій, а також розширення мінерально-сировинної бази діючих гірничодобувних і збагачувальних комплексів необхідно поповнювати ресурсну базу, виявляючи нові об'єкти, комплексно їх розробляючи, та впроваджувати нові наукові підходи до видобутку руд у складних умовах, насамперед гідрогеологічних.

Головні розвідані запаси титанових і цирконієвих руд в Україні приурочені до прибережно-морських розсипищ (до 90 %). У більшості випадків титан-цирконієві розсипища мають комплексний склад і, крім Ti й Zr, містять інші промислово цінні хімічні

елементи – Sc, Hf, Th, U, Y, Ce, TR, а серед мінералів (крім ільменіту, рутилу й циркону) – кіаніт, силіманіт, гранат та ін. Описуваний генетичний тип розсипищ приурочений до відкладів полтавської серії сарматського ярусу, його широко експлуатують в Україні. Розсипища в межах перекривних відкладів Українського щита просторово збігаються з палеодолинами різного віку, переважно палеоген-неогенового. Джерелами формування розсипищ були зональні поліфазові інтрузії габро-анортозитів та суміжних порід, розмиті ерозійними процесами, а найстійкіші мінерали збагатились у прибережно-морській зоні. Основним критерієм локалізації найпотужніших розсипищ є їхня приуроченість до прибережних частин долин, заплавл, близьких до джерела знесення, озероподібних розширень, місць впадіння приток, що перерізували ільменіто- й цирконовмісні кори звітрявання та акумулювали і збагачували теригенний матеріал промислово цінними мінералами за сприятливих гідродинамічних умов.

Загальна характеристика та геологічна будова Малишівського родовища. Родовище розташоване в П'ятихатському та Верхньодніпровському районах Дніпропетровської обл. на відстані 6–8 км від Вільногірського гірничо-збагачувального комбінату, який діє понад 50 років. Гірничі роботи на родовищі ведуть з 1962 р. Сучасна сировинна база Вільногірського гірничо-металургійного комбінату (ГМК) – Західна та Центральна ділянки Малишівського родовища, де полтавські відклади зневоднені, локалізовані в зоні аерації. Центральна ділянка розташована на схід від Вільногірська. Західну ділянку відпрацьовано в 1990 р. Тоді ж розпочато розробку Центральної ділянки з уведенням в експлуатацію першої черги кар'єру № 7-Північ з річною продуктивністю 2,5 млн м³. З 1992 р. ведуть роботи на кар'єрі № 7-Південь з такою ж продуктивністю. Останніми роками для Центральної ділянки характерне стрімке зменшення запасів. Перспективна Мотроно-Аннівська ділянка є північно-західною частиною Малишівського родовища. Розташована вона в верхів'ях рік Самоткань і Домоткань, які є притоками Дніпра, на північ від Вільногірська (рис. 1).

Загальна площа ділянки – 39 км². Відстань від центру до промислового майданчика Вільногірського ГМК по прямій становить 11 км. Критичним недоліком Мотроно-Аннівської ділянки, на відміну від Західної та Центральної, є обводненість рудного покладу, що суттєво ускладнює гідрогеологічні умови розробки.

Родовище складене осадовими відкладами неогену, які залягають субгоризонтально й перекривають розмиту поверхню глинистих глауконітових пісків харківського ярусу палеогену. Зруденіння приурочене до пісків полтавської серії потужністю близько 20 м, їхня верхня 10-метрова частина містить промислові концентрації ільменіту, рутилу, циркону та інших мінералів важкої фракції. Протяжність покладів досягає 7 км за шириною в східній частині до 5,2 км, у західній – 4,0 км.

Над рудним тілом – пісками полтавської серії – залягає 24-метровий шар піску сарматського ярусу, який поступово переходить у зеленкувато-сірі й строкатоколірні глини сарматського ярусу, місцями загіпсовані, потужністю до 10–12 м на заході й до 5–7 м на сході. Сарматські глини перекриті потужною (до 70 м) товщею четвертинних червонобурих глин і палево-жовтих суглинків. У долинах і балках четвертинні відклади потужністю до 10 м представлені делювіальними суглинками з рідкісними прошарками делювіально-алювіальних пісків.

Мінеральний склад пісків полтавської серії. Головними мінералами рудних пісків полтавської серії є кварц і хлорит, підпорядковане значення мають польові шпати й гідролуца (рис. 2).



Рис. 1. Просторова локалізація Мотроно-Аннівської ділянки Малишівського родовища на геологічній карті.

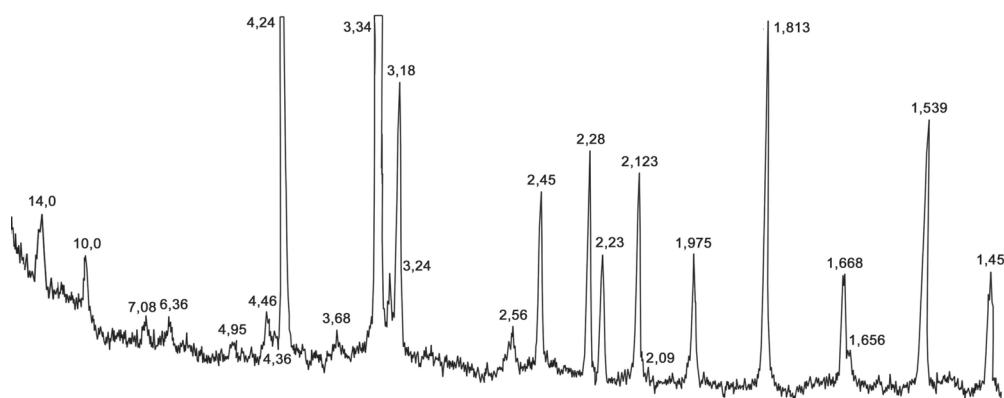


Рис. 2. Дифрактограма рудовмісного піску полтавської серії Малишівського родовища, Å (кварц – 75–80 %, хлорит – 15–20, гідрослюда – 5, польовий шпат – до 5 %).

Вміст глинистих мінералів у рудному пласті досягає 20 %. Важка фракція, відмита від кварцу та глинистих мінералів, становить від 10–15 до 100–150 кг/м³. Серед рудних мінералів важкої фракції найбільше ільменіту – 44 %, сумарний вміст рутилу й лейкоксену – 16 %, циркону – 9,6 % (до 7,6 кг/м³, із них 5,1 кг/м³ – чистий діоксид цирконію). Серед нерудних мінералів найбільше поширений турмалін – 9 %, сумарний вміст кіаніту й силіманіту – 13 %. Інші мінерали виявлені в невеликій кількості, у тім числі близько 0,1 карата на 1 м³ становлять дрібні алмази.

У цирконі з концентрату Малишівського родовища міститься 64,3–67,0 % суми ZrO_2 та HfO_2 (вміст HfO_2 у цій сумі – 1,6–1,9 %). Інші домішки: Y і лантаніди – 0,14–0,64 %, U – 0,02, Th – 0,01 %. Близько 2,5 % цирконового концентрату становить метамікстний різновид циркону (малакон), подібний до циркону з уранових руд деяких родовищ Центральноукраїнської урановорудної провінції, звідки, імовірно, цей різновид і походить. У цьому цирконі вміст HfO_2 сягає 2,3 %, підвищений також вміст P_2O_5 , Y, TR, U, Th. Є можливість виділяти цей різновид циркону в самостійний високогафнієвий продукт, оскільки він має підвищену магнітну сприйнятливості [4].

Гідрогеологічна характеристика. Донині розробляють частину родовища, розташовану вище від рівня підземних вод. Найближчим часом планують приступити до експлуатації Мотроно-Аннівської ділянки, умови розробки якої суттєво відрізняються тим, що продуктивний рудний пласт залягає нижче від рівня підземних вод.

Проектом передбачено розробку родовища відкритим способом за відомою технологією, застосовуваною на сухих ділянках. Для осушення кар'єру планують відкритий водовідлив із використанням водозбірних каналів і зумпфів. Ведуть розкривні роботи, будують інфраструктурні об'єкти, під'їзні дороги й комунікації. Однак гідрогеологічні умови обводненої частини родовища недостатньо вивчені. Тому потрібно оцінити вірогідність розрахунків водоприпливу й ефективності запропонованих варіантів системи осушення майбутнього кар'єру.

У 2001–2002 рр. дочірнє підприємство НАК Надра України – Центрукргеологія – виконало комплекс гідрогеологічних досліджень, який охоплює проведення двох кущових дослідних відпомповувань, а також визначення гранулометричного складу і фізико-механічних властивостей порід.

Рельєф території – це рівнина, розчленована глибокими балками, перепад позначок досягає 60 м. Кущі свердловин для проведення дослідно-фільтраційних робіт були пробурені в балках, промені спостережних свердловин орієнтовані вздовж балок. Отримано такі усереднені характеристики водоносного комплексу: потужність – 23,4 м, водопровідність – 70 м²/добу, коефіцієнт фільтрації – 3 м/добу, рівнепровідність – $6 \cdot 10^3$ м²/добу.

У 2004 р. інститут Кривбаспроект склав техніко-економічне обґрунтування (ТЕО) кондицій для підрахунку запасів; у ньому використано зазначені параметри, аналітично оцінено припливи підземних вод у кар'єр та запропоновано системи його осушення. Згідно з наведеними розрахунками, прогнозне значення водоприпливу – 8 400 м³/добу. У 2011–2012 рр. німецька фірма “Ватерфал” розробила так зване банківське ТЕО, у якому запропоновано систему осушення рядами свердловин. Із застосуванням цифрового моделювання обчислено кількість свердловин та їхній сумарний дебіт. Значення водоприпливу – до 20 000 м³/добу. Отже, нез'ясованим питанням гідрогеологічних умов видобутку титан-цирконієвих руд у межах обводненої частини Малишівського родовища є як об'єми водоприпливів, так і можливість осушення рудної товщі.

Гідрогеологічні умови живлення і розвантаження підземних вод. У гідрогеологічній будові Малишівського родовища виділяють два водоносні горизонти – четвертинний і неогеновий. У балках східної частини родовища четвертинні й сарматські глини повністю розмиті, а потужність сарматських пісків суттєво менша, ніж на вододілах. Це засвідчує, що в голоцені глини четвертинного й сарматського віку виходили на поверхню і зазнавали розмивання потоками, які успадковані сучасними балками. Отже, у місцях, де глинистого покриву нема, морські відклади сармату перебиті, їх можна трактувати як алювій або пролювій. Четвертинні відклади представлені суглинками. На во-

додільних ділянках це еолові лесоподібні суглинки потужністю 1–2 м, у балках – делювіально-пролювіальні відклади потужністю до 5 м.

До четвертинних суглинків приурочений водоносний горизонт, який сільське населення використовує для місцевого водопостачання. Живлення водоносного горизонту відбувається завдяки інфільтрації атмосферних опадів. Оскільки рельєф водотривких відкладів повторює рельєф поверхні, то вода з четвертинних відкладів по ухилу стікає в балки. Досягнувши контуру вікон у водотривких глинах, вода інфільтрується вертикально по зоні аерації й живить водоносний горизонт у сарматських пісках (рис. 3).

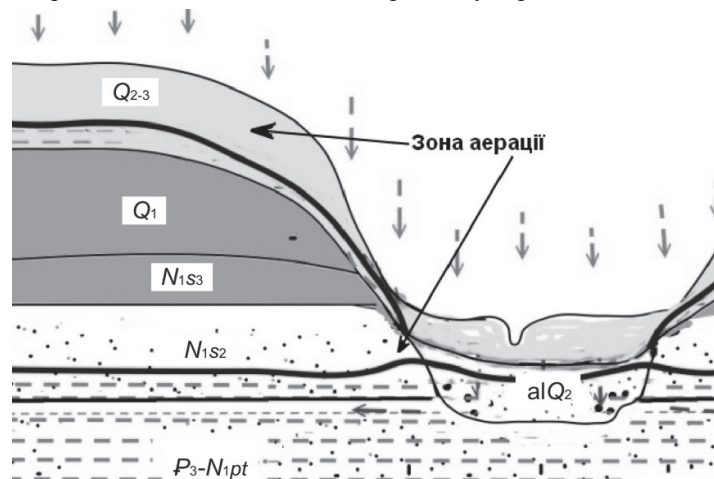


Рис. 3. Схема живлення підземних вод.

Q_{2-3} – суглинок; Q_1 та N_{1s3} – глина; N_{1s2} – дрібнозернистий пісок; P_3-N_{1pt} – тонкозернистий глинистий пісок; alQ_2 – перемитий пісок.

Рівень води є на 15 м нижче від покрівлі водотривких сарматських глин, тобто під водоупором наявна зона аерації. Розрив суцільності в обводненому масиві є рідкісним у природі явищем, саме він зумовлює унікальність гідрогеологічних умов Малишівського родовища.

Літологія і фільтраційні властивості осадових порід. Фільтраційні властивості різнозернистих осадових порід визначені їхнім гранулометричним і мінеральним складом. Геологи характеризують глауконітові піски харківського ярусу як сильно глинисті, що переходять у глину, напівтверді. Це скоріше пісковики на глинистому цементі. Глауконіт – мінерал м'який, його твердість за шкалою Мооса дорівнює двом. Очевидно, зерна глауконіту під масою порід, що залягають вище, розчавлюються й заповнюють міжзерновий простір. Тому відклади харківського ярусу ми приймаємо за водотрив.

Обводнені піски полтавської серії складені з кварцу і глинистих мінералів, вміст яких досягає 20 %. Згідно з класифікацією гранулометричного складу [2], до пісків належать частинки розміром понад 0,05 мм, до пилу – від 0,05 до 0,001, дрібніші – до глини. За даними аналізу 30 проб, вивчених Правобережною ГРЕ, у пробах міститься 74 % тонкозернистого піску, 17,8 – пилу, 8,2 % глини. В інженерній геології такі породи зачисляють до пилуватих легких суглинків. За довідниковими даними [5], суглинки мають значення коефіцієнта фільтрації від 0,01 до 0,001 м/добу. Коефіцієнт фільтрації можна оцінити за емпіричними формулами залежно від ефективного діаметра D_{10} , який у цьому

випадку дорівнює 0,002 мм. За відомою формулою Хазена $K = (D_{10})^2$ [см/с] = $4 \cdot 10^{-6}$ см/с, або 0,0034 м/добу.

Піски сарматського ярусу геологи описують як слабо глинисті. Водночас по керну гідрогеологічних свердловин, пробурених у балках, пісок сарматського ярусу добре відсортований. За даними Центрукргеології, у свердловинах, де проводили дослідні відпомповування, ефективний діаметр пісків сарматського ярусу D_{10} змінюється від 0,07 до 0,29 мм. Коефіцієнт фільтрації пісків за формулою Хазена становить від 4,2 за $D_{10} = 0,07$ мм до 72 м/добу за $D_{10} = 0,29$ мм. Отже, проникність сарматських відкладів на порядки більша, ніж полтавських (рис. 4).

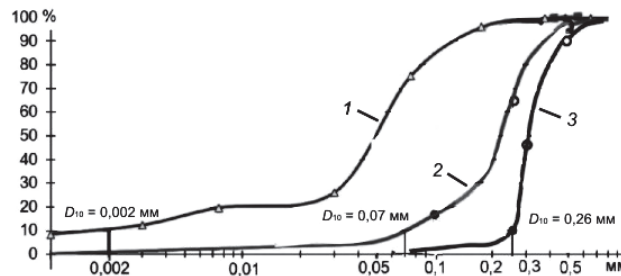


Рис. 4. Інтегральні криві гранулометричного аналізу пісків полтавської серії (1) та сарматського ярусу (2, 3).

Суглинки четвертинного віку поділяють на важкі й легкі, лесоподібні. Важкі суглинки водотривкі. Проникність легких суглинків зумовлена макропористістю ґрунту, який складений з найтоншого пилу, скріпленого в агрегати солями. Вміст солей досягає 1 %. Даних про проведення лабораторних або польових досліджень фільтраційних властивостей нема. У проектних документах прийнято коефіцієнт фільтрації 0,1 м/добу, у звіті фірми “Ватерфал” – 0,15 м/добу.

Під зовнішнім навантаженням мінеральні агрегати суглинків руйнуються, порода ущільнюється і стає практично непроникною. Залежність коефіцієнта фільтрації лесоподібних суглинків від навантаження, за [3], показано на рис. 5.

За щільності суглинку $1,5 \text{ т/м}^3$ тиск на характерній середній глибині 3 м дорівнює навантаженню $4,5 \text{ т/м}^2$, або $0,45 \text{ кг/см}^2$.

За графіком (див. рис. 5) знаходимо $\lg K = -1,5$, що відповідає значенню коефіцієнта фільтрації K 0,03 м/добу.

Інтерпретація результатів дослідних відпомповувань. Водозабірні свердловини дослідних куштів пробурені діаметром 600 мм, фільтрова колона мала діаметр 250 мм. Зафільтрований простір засипано гравієм (рис. 6). Це забезпечувало гідравлічний зв'язок між полтавськими та сарматськими відкладами, незважаючи на те, що сітчастий фільтр був розташований в інтервалі полтавських відкладів.

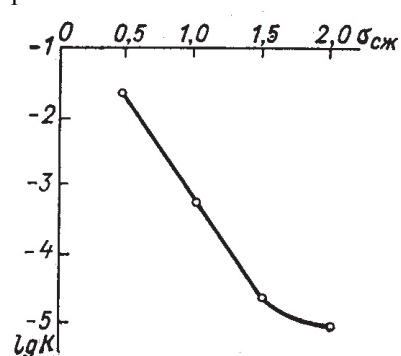


Рис. 5. Залежність значення логарифма коефіцієнта фільтрації $\lg K$ лесоподібних суглинків від прикладеного навантаження $\sigma_{сж}$, кг/см^2 .

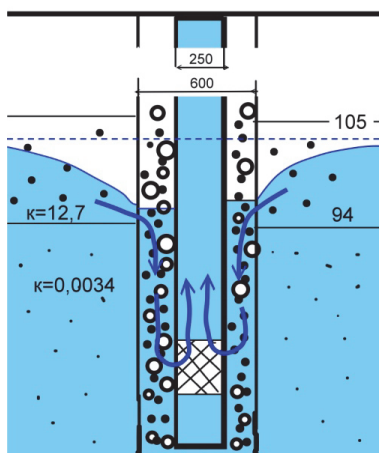


Рис. 6. Схема руху води під час дослідних відпомповувань.

На вододілах проникність сарматських пісків може бути суттєво меншою.

Цифрове моделювання гідрогеологічних умов. Для створення цифрової моделі використано загальнодоступну версію пакета програм Visual Modflow, створену для розв'язування рівнянь підземної гідродинаміки в часткових похідних на тривимірній кінцево-різницевої сітці. Одним із рівнянь, узятих за основу цифрового моделювання, є рівняння нерозривності. Фізично це означає суцільність зони водонасичення від верхнього до найнижчого гідрогеологічного тіла. За умов Мотроно-Аннівської ділянки між четвертинним і неогеновим водоносними горизонтами є зона аерації у верхній частині сарматських відкладів. Розрив суцільності зони водонасичення не передбачений програмою, тому вирішено моделювати четвертинний і неогеновий водоносні горизонти окремо.

Розмір області моделювання – 10 км по вертикалі та 9 км по горизонталі. Густота розбивки прийнята сумірною з розміром модельованих інженерних споруд (ставків, кар'єрів, відвалів). Розмір комірок – 100 м. У плані модель розділена на два елементи, що відрізняються наявністю водотриву між лесоподібними суглинками й пісками.

У моделі четвертинного водоносного горизонту задано живлення з атмосферних опадів. Контуром розвантаження слугувала лінія виклинювання глинистого водотриву, на якій задано граничну умову постійного напору. Спочатку провели корекцію моделі, змінивши значення інфільтрації та коефіцієнта фільтрації суглинків. Домоглися того, що рівень води на всій площі був нижчим від земної поверхні й вищим від водотривкої підшови. У підсумку отримано коефіцієнт фільтрації суглинку 0,07 м/добу, значення інфільтрації – 10 мм за рік. Отримане значення інфільтрації дає змогу оцінити динамічні запаси ґрунтових вод на модельованій площі у 2 465 м³/добу.

Карту гідроізогіпс водоносного горизонту четвертинних відкладів, отриману на моделі, показано на рис. 7. Як бачимо з карти, потік ґрунтових вод спрямований до вікон у водотриві, де вода перетікає через зону аерації в розташований нижче водоносний горизонт. За отриманою моделлю визначили припливи води в комірки, що відповідають контуру вікон, – виклинювання сарматських глин. Зазначені припливи послуговували граничними умовами другого роду для моделювання водоносного комплексу в неогенових відкладах.

Результати замірів рівня й дебіту свердловин опрацьовано за відомими методиками часового та площинного спостережень, за формулами для напірного горизонту. Як відомо, зазначені формули дають змогу обчислювати водопродіюваність пласта – добуток коефіцієнта фільтрації на потужність. Коефіцієнт фільтрації визначений як співвідношення водопродіюваності (70 м²/добу) та загальної потужності обводнених порід (23,4 м).

Однак, як з'ясовано, проникність полтавських відкладів на кілька порядків менша, ніж сарматських. Отримане значення потужності, що стосується обводнених частин сарматських пісків, дорівнює 5,5 м. Поділивши водопродіюваність на зазначену потужність, отримаємо коефіцієнт фільтрації 12,7 м/добу. У цьому разі можна припустити, що на ділянках вікон у водотриві в балках піски перемиті.

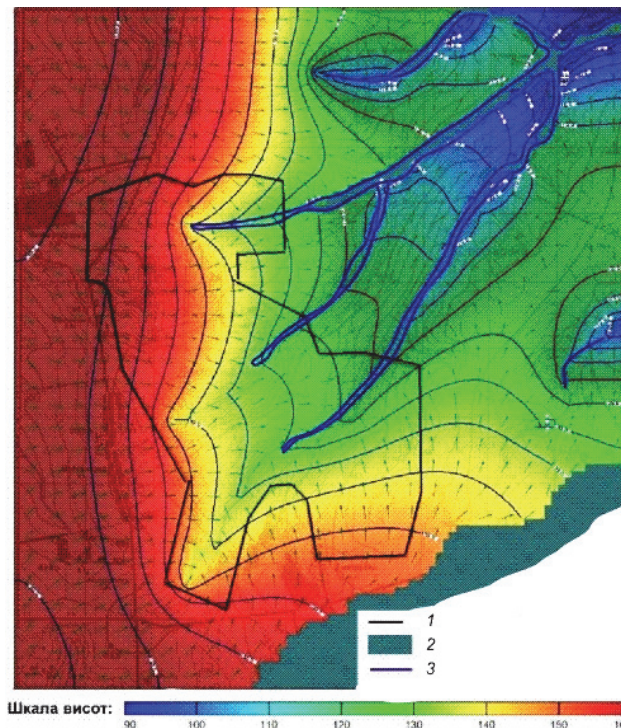


Рис. 7. Модельна карта ізогіпс водоносного горизонту в четвертинних суглинках:
1 – контур обробки; 2 – неактивні блоки; 3 – зони розвантаження.

У моделі неогенового комплексу задано схему, що складається з двох шарів: нижній (полтавський) з коефіцієнтом фільтрації 0,0034 м/добу і верхній (сарматський) – з 12,7 м/добу. Джерелами живлення й осередком розвантаження слугують штучні водойми, а також інфільтраційне живлення на площі вікон у водотриві. На контурах виклинювання водотриву задана межа другого роду – витрати води, що перетікає з четвертинних відкладів. Критерієм вірогідності моделі слугував збіг гідроізогіпс з даними, отриманими за системою спостережних свердловин. Цього вдалося досягти за коефіцієнта фільтрації сарматських пісків 1,4 м/добу на всій площі та 12,7 м/добу там, де водотривкі відклади розмиті.

Розрахунок водоприпливу в кар'єр з водоносного горизонту в четвертинних суглинках. Низькі фільтраційні властивості четвертинних суглинків зумовлюють незначний розмір депресії рівня ґрунтових вод. Розмір зони впливу можна оцінити з умов водного балансу. Приплив води q на одиницю ширини потоку до борту кар'єру визначають за формулою $q = kh^2/L$, де k – коефіцієнт фільтрації (0,07 м/добу); h – потужність водоносного горизонту (у середньому – 5 м); L – відстань, на яку поширюється зниження рівня (так званий радіус впливу).

Зазначений приплив заповнюється інфільтрацією W , за результатами моделювання – 0,01 м/рік: $q = LW$. Прирівняємо витрати, отримаємо таке: $L^2 = kh^2/W = 63,8 \text{ м}^2$; $L = 8 \text{ м}$. Одиначна витрата $q = 0,07 \times 5^2 : 8 = 0,22 \text{ м}^3/\text{добу}$. Наприклад, за довжини робочого борту 500 м приплив води з четвертинних суглинків становитиме всього $109 \text{ м}^3/\text{добу}$. Водо-

приплив мізерний, і вплив осушення четвертинного водоносного горизонту поширюється на незначну відстань.

Приплив у кар'єр з неогенового водоносного комплексу визначили за допомогою цифрової моделі. Як осередки розвантаження задавали положення дренажних каналів на дні майбутнього кар'єру. Оскільки кар'єр перерізає балки, то в балках вище за течією від кар'єру споруджуватимуть дамби для захисту від зливових потоків. З тимчасових водойм воду передбачено відкачувати, скидаючи в природну гідромережу.

На моделі виконано оцінку водоприпливів за заповнених і спорожнених тимчасових водойм. Значення водоприпливів у кар'єр наведено в таблиці.

Розрахунок значень водоприпливів у кар'єр за результатами гідрогеологічного моделювання

Етапи гірничих робіт	Приплив води, м ³ /добу	
	за заповнених водойм	за спорожнених водойм
1	360	124
2	620	350
3	2 492	238
4	2 751	142

Розрахунки засвідчили, що приплив підземних вод у кар'єр за спорожнених тимчасових водойм дуже незначний, близько 10 м³/год. У разі заповнених до максимального рівня водойм водоприплив різко збільшується і на четвертому етапі досягає 114 м³/год.

Водночас приплив поверхневих вод може досягати сотень метрів кубічних за добу. Площа водозбору кар'єру – до 8 км². За даними метеостанції Комісарівка, за добу може випасти до 75 мм опадів. Тоді у випадку катастрофічної зливи приплив становитиме до 25 000 м³/год. Середньорічний приплив за опадів 504 мм і коефіцієнта стоку 0,7 становитиме 322 м³/год. Отже, приплив поверхневих вод на порядок більший, ніж підземних.

Причини розбіжностей у розрахунках. У ДП Центрукргеологія виконано розрахунок водоприпливу з неогенового водоносного комплексу в кар'єр з наведеним радіусом $r = 479$ м і радіусом впливу $R = 2 228$ м. Розрахункова формула для визначення припливу Q з однорідного в плані та розрізі безнапірного горизонту потужністю H має вигляд

$$Q = \pi k H^2 / (\ln R - \ln r),$$

де k – коефіцієнт фільтрації, 3 м/добу; значення водоприпливу – 3 340 м³/добу.

У ТЕО, розробленому інститутом Кривбаспроект, виконано розрахунок за тією же формулою для радіуса впливу 870 м, отриманий результат – 8 440 м³/добу.

Як доведено, коефіцієнт фільтрації полтавських відкладів на кілька порядків менший, ніж сарматських. Полтавські відклади не віддають воду, тому водоприплив очікують тільки з сарматських пісків. У такому випадку $K = 12,7$ м/добу, а $H = 5,5$ м. Підставивши ці значення, отримаємо за $R = 2 228$ м $Q = 783$ м³/добу, за $R = 870$ м $Q = 2 116$ м³/добу.

Результати розрахунків за формулою “великого колодязя” відрізняються від результатів моделювання, оскільки прийнято умову однорідності пласта в плані та розрізі. Однак порядок цифр близький до результатів моделювання.

По-іншому виглядають розрахунки фірми “Ватерфал”. У розробленій нею моделі коефіцієнт фільтрації пісків сарматського ярусу дорівнює 2,4 м/добу із акцентуванням, що це значення розрахункове. Однак розрахунків не наведено. Крім того, коефіцієнт фільтрації порід харківського ярусу, які насправді є водотривом, прийнято 4,3 м/добу.

Отже, за всіма гідрогеологічними елементами коефіцієнт фільтрації завищений на порядок і навіть більше. У підсумку отримано великі значення прогнозних водоприпливів у кар'єр, що перевищують 20 000 м³/добу. За прийнятих фірмою "Ватерфал" гідрогеологічних параметрів реалізація системи осушення за допомогою свердловин була б можливою. У разі фактичних значень коефіцієнтів фільтрації зазначена система не дієздатна.

Низька проникність і водовіддача відкладів полтавської серії створюють непереборні труднощі в осушенні кар'єру. Тому відомі фахівці та автори праці [1] рекомендують застосувати гідромеханічний спосіб розробки родовища. На етапі дослідно-промислового видобутку треба порівняти ефективність гідромеханічного видобутку з методом відкритої розробки в осушених умовах.

Отже, доведено необхідність та результативність аналізу мінерального складу осадових товщ, їхньої геологічної будови та водно-фізичних властивостей водовмісних порід. Такий аналіз повинен передувати інтерпретації даних дослідно-фільтраційних робіт.

На підставі виконаного аналізу визначено водотривкі властивості відкладів харківського ярусу. Слабка проникність пісків полтавської серії зумовлена підвищеним вмістом глинистих мінералів, насамперед хлориту. Неоднорідність геологічної будови зумовлює наявність вікон у покривних водотривких глинах і перемитих сарматських пісків у зонах розмивання.

Особливістю гідрогеологічних умов родовища є розрив суцільності зони водонасичення – наявність зони аерації в сарматських відкладах під водотривкими глинами. Це не дає змоги скласти єдину багатшарову гідродинамічну модель. Тому розроблено окремі цифрові моделі четвертинного водоносного горизонту і водоносного комплексу в неогенових відкладах. За результатами коригування моделей визначено фільтраційні параметри складових гідрогеологічного розрізу.

Для кожного з перших чотирьох етапів розвитку гірничих робіт оцінено припливи води в кар'єр за наповнених і спорожнених тимчасових водойм. Значення водоприпливу з четвертинного водоносного горизонту мізерне, і вплив депресійної лійки кар'єру поширюється на незначну відстань.

Отримано такі результати розрахунків водоприпливу з неогенового водоносного комплексу: у разі заповнених водойм – від 360 до 2 750 м³/добу, у разі спорожнених – від 124 до 142 м³/добу. Припливи підземних вод незначні й на порядки менші, ніж можливі припливи зливових вод. Створення тимчасових водойм у балках обмежує розвиток депресійної лійки навколо кар'єру.

Отримані на моделі значення водоприпливу в майбутній кар'єр значно менші, ніж у попередніх аналітичних розрахунках. Основною причиною розбіжностей у результатах аналітичних і модельних розрахунків водоприпливу є невиправдане припущення про однорідність у плані й розрізі фільтраційних параметрів осушуваних порід.

Низька проникність і водовіддача відкладів полтавської серії створюють значні труднощі осушення кар'єру. Тому рекомендуємо застосувати гідромеханічний спосіб розробки родовища. На етапі дослідно-промислового видобутку треба порівняти ефективність гідромеханічного видобутку з методом відкритої розробки за осушених умов.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лазников А. М. Рациональная технология разработки обводнённых россыпей / А. М. Лазников, Б. Е. Собко, А. М. Гайдін // Сб. науч. тр. АГН Украины. – Кривой Рог : Дионис, 2012. – С. 130–137.
2. Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1968. – Т. 1. – 348 с.
3. Мироненко В. А. Основы гидрогеомеханики / В. А. Мироненко, В. М. Шестаков. – М. : Недра, 1974. – 296 с.
4. Поддубная Т. Д. Титан-циркониевые россыпи Украины: Геологические аспекты и проблемы нарушенных земель / Т. Д. Поддубная // Строительство и техногенная безопасность : [Сб. науч. тр. КИПКС]. – Симферополь : Таврия, 1998. – С. 71–82.
5. Справочное руководство гидрогеолога. – М. : Гостоптехиздат, 1959. – 836 с.

*Стаття: надійшла до редакції 09.11.2014
прийнята до друку 02.12.2014*

**MINERAL COMPOSITION AND HYDROGEOLOGICAL
CONDITIONS OF TITANIUM-ZIRCONIUM ORES PRODUCTION
IN WATERED PART OF MALYSHIVSKE DEPOSIT
(UKRAINIAN SHIELD)**

A. Haydin¹, V. Dyakiv², I. Chikova¹

¹*Scientific Centre of Institute of Mining and Chemical Industry,
98, Stryjska St., 79026 Lviv, Ukraine*

²*Ivan Franko National University of Lviv,
4, Hrushevskiyi St., 79005 Lviv, Ukraine*

E-mail: dyakivw@yahoo.com

The flooded areas of the Malyshivske titanium-zirconium deposit, located in Middle-Dnieprean megablock of the Ukrainian Shield, have been investigated. It has been determined that the ore bed in hydrogeological section lies immediately below the groundwater level. Based on the results of the hydrogeological modelling (using publicly available version of the software package Visual Modflow) individual digital models of the Quaternary aquifer and aquifer system in the Neogene sediments have been designed. According to the results of the model adjustment the filtration parameters of hydrogeological section have been determined. It has been established that the inflow of water from the Neogene aquifer when filling ponds ranges from 360 to 2 750 m³/day, and in case of emptied reservoirs – from 124 to 142 m³/day. Inflow of groundwater is slight, by orders of magnitude smaller than the possible influx of showery water. Construction of temporary ponds in the beams limits the development of depression crater around the quarry. Difficulties in draining the quarry are caused by low permeability and water loss of Poltavaska series deposits, therefore a hydromechanical method of field development is recommended.

Key words: ilmenite, zircon, Malyshivske titanium-zirconium deposit, placers, Poltavaska series, hydrogeological conditions, filtration parameters, digital simulation, Ukrainian Shield.

МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ДОБЫЧИ ТИТАН-ЦИРКОНИЕВЫХ РУД В ПРЕДЕЛАХ ОБВОДНЁННОЙ ЧАСТИ МАЛЫШЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (УКРАИНСКИЙ ШИТ)

А. Гайдін¹, В. Дяків², И. Чикова¹

¹Научный центр Института горно-химического сырья,
ул. Стрыйская, 98, 79026 г. Львов, Украина

²Львовский национальный университет имени Ивана Франко,
ул. Грушевского, 4, 79005 г. Львов, Украина
E-mail: dyakivw@yahoo.com

Исследовано обводненные участки Малышевского титан-циркониевого месторождения, расположенного в пределах Среднеприднепровского мегаблока Украинского щита. Определено, что в гидрогеологическом разрезе рудный пласт залегает тут ниже уровня подземных вод. На основании результатов гидрогеологического моделирования с использованием общедоступной версии пакета программ Visual Modflow разработано отдельные цифровые модели четвертичного водоносного горизонта и водоносного комплекса в неогеновых отложениях. По результатам корректировки моделей определено фильтрационные параметры слагаемых гидрогеологического разреза. Установлено, что водоприток из неогенового водоносного комплекса при заполненных водоёмах составляет от 360 до 2 750 м³/сутки, а в случае опорожненных – от 124 до 142 м³/сутки. Приток подземных вод незначительный, на порядки меньше, чем возможный приток ливневых вод. Сооружение временных водоёмов в балках ограничивает развитие депрессионной воронки вокруг карьера. Трудности при осушении карьера обусловлены низкой проницаемостью и водоотдачей отложений полтавской серии, поэтому рекомендовано применять гидромеханический способ разработки месторождения.

Ключевые слова: ильменит, циркон, Малышевское титан-циркониевое месторождение, россыпи, полтавская серия, гидрогеологические условия, фильтрационные параметры, цифровое моделирование, Украинский щит.