

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
“НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ”**

ПЕРКОВА Тетяна Іванівна

УДК 622.516:631.432.3

**ЗАКОНОМІРНОСТІ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ЗМІН МАСИВУ
ГІРСЬКИХ ПОРІД В ОСНОВАХ ВІДСТІЙНИКІВ
МІНЕРАЛІЗОВАНИХ РУДНИЧНИХ ВОД**

Спеціальність 05.15.09 – “Геотехнічна і гірничча механіка”

Автореферат

**дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Дніпропетровськ – 2014 Дисертація є рукописом.

Робота виконана на кафедрі гідрогеології та інженерної геології Державного вищого навчального закладу “Національний гірничий університет” Міністерства освіти і науки України (м. Дніпропетровськ).

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
РУДАКОВ Дмитро Вікторович,
завідувач кафедри гідрогеології та інженерної геології Державного вищого навчального закладу “Національний гірничий університет” Міністерства освіти і науки України (м. Дніпропетровськ).

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший науковий співробітник
КРУКОВСЬКА Вікторія Вікторівна,
старший науковий співробітник відділу керування динамічними проявами гірського тиску Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України (м. Дніпропетровськ),

кандидат технічних наук
ПЕДЧЕНКО Світлана Віталіївна,
завідувач відділу маркшейдерських і геодезичних досліджень Українського Державного науково-дослідного і проектно-конструкторського інституту гірничої геології, геомеханіки і маркшейдерської справи Національної академії наук України (м. Донецьк).

Захист дисертації відбудеться “ 10 ” жовтня 2014 р. о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.04 при Державному вищому навчальному закладі “Національний гірничий університет” Міністерства освіти і науки України за адресою: 49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державного вищого навчального закладу “Національний гірничий університет” Міністерства освіти і науки України за адресою: 49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.

Автореферат розісланий “ 10 ” вересня 2014 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



).В. Солодянкін

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Видобуток корисних копалин супроводжується інтенсивним водовідливом вод різної мінералізації з подальшою їх локалізацією у відстійниках, побудованих в ерозійних врізах, часто без облаштування протифільтраційних покриттів. Щорічно в Кривбасі відкачується 38...42 млн.м³ шахтних та рудничних вод з мінералізацією від 5 до 96 г/л, при цьому підземні води мінералізацією більше 3 г/л характерні для 33% території Кривбасу. Фільтраційні втрати з водовідстійників та хвостосховищ формують складні просторово-розподілені локальні зони техногенної інфільтрації. Це призводить до стійкого підйому рівня підземних вод, погіршення їх якості, міграції солей у водоносних горизонтах, зниження геомеханічної стійкості породного масиву внаслідок реакцій розчинення, що супроводжується появою провалів. Ці взаємозв'язані процеси становлять загрозу для житлових будинків у зонах впливу відстійників.

Існуючі гідротехнічні споруди та ті, що проектується згідно нормативних документів, не забезпечують достатню ізоляцію від фільтраційних втрат рудничних вод з відстійників. Методики розрахунку параметрів протифільтраційних споруд, що застосовуються, не враховують сукупний вплив гідродинамічних та фізико-хімічних чинників, що змінюють геомеханічні властивості порід у зонах розташування відстійників мінералізованих вод та хвостосховищ.

Складність і багатофакторність фільтраційного переносу та масообміну мінералізованих вод з гірськими породами обумовлює необхідність розробки методик прогнозування гідродинамічних і фізико-хімічних процесів та їх технологічного контролю. В зв'язку з цим, встановлення нових закономірностей фізико-хімічних змін породного масиву, як основи відповідних методик прогнозування та контролю, є актуальною науково-практичною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота є складовою частиною науково-дослідної роботи Державного ВНЗ “Національний гірничий університет” за темою ГП-443 “Геолого-гідрогеологічне та геофізичне обґрунтування параметрів експлуатації та акумуляції теплової енергії техногенних газогідротермальних родовищ Донбасу” (№ держреєстрації 0111U002813), а також відповідає напрямкам НДР у Державному ВНЗ “НГУ” (номери 040825, 50/040823-59).

Мета роботи полягає у визначенні закономірностей фізико-хімічних змін в основах відстійників рудничних вод та хвостосховищ, що обумовлюють зміни геомеханічних властивостей масиву гірських порід.

Ідея роботи полягає у визначенні кількісного зв'язку між зміною фільтраційних властивостей внаслідок фізико-хімічної взаємодії розчину з породами та їх геомеханічними властивостями.

Для досягнення сформульованої мети були вирішені такі **задачі**:

1. Провести аналіз впливу фізико-хімічних реакцій у гірських породах на зміну їх властивостей в умовах міграції мінералізованих рудничних вод.
2. Розробити та ідентифікувати моделі міграції розсолів у шарувато-неоднорідній товщі з урахуванням змін геомеханічних властивостей масиву гірських порід.
3. Виконати кількісну оцінку параметрів суфозії та карсту, що впливають на стійкість порушеного масиву гірських порід, з використанням фізичного та чисельного моделювання.
4. Обґрунтувати технологічне рішення з локалізації впливу відстійників рудничних вод і хвостосховищ на породний масив з метою попередження фільтраційних деформацій.

Об'єкт дослідження – фізико-хімічні процеси в породному масиві в зоні впливу водовідстійників та хвостосховищ.

Предмет дослідження – фільтраційні властивості породного масиву, що змінюються внаслідок міграції мінералізованих вод та визначають його геомеханічну стійкість.

Методи досліджень. Для вирішення поставлених задач застосований комплексний підхід, який включає: наукове узагальнення та систематизацію даних для встановлення

впливу гідродинамічних і гідрогеохімічних процесів на інтенсивність розчинення порід, що карстуються; математичне моделювання геофільтрації та масопереносу; метод водного балансу; лабораторні дослідження оцінки параметрів вилуговування суглинистих порід в основах відстійників та карбонатних порід мінералізованими водами.

Наукові положення, що виносяться на захист:

1. Взаємодія рудничних вод мінералізацією 10...50 г/л з суглинистими породами основ водовідстійників в діапазоні гідравлічного градієнту від 2 до 26 супроводжується зростанням швидкості фільтрації за кубічною залежністю при інтенсивності хімічних реакцій $(8 \pm 2) \cdot 10^{-3}$ доба⁻¹ та формуванням суфозійних промоїн розміром до 20 см. Це дозволяє прогнозувати фізико-хімічні зміни порід в основах водовідстійників під час їх експлуатації.

2. Фільтрація рудничних вод в органогенних вапняках супроводжується вилуговуванням іонів Ca²⁺ інтенсивністю $1 \cdot 10^{-5} \dots 2 \cdot 10^{-4}$ г/(см²·добу) та призводить до зміни активної пористості породи до 17% та її проникності до 60%; кількісна оцінка цих параметрів дозволяє прогнозувати збільшення площі техногенного карсту карбонатних порід при міграції рудничних вод та обґрунтовувати інженерні заходи щодо локалізації впливу водовідстійників на породний масив.

Наукова новизна отриманих результатів:

1) розроблена чисельна модель міграції рудничних вод змінної густини з відстійників, що відрізняється від існуючих відтворенням фільтрації через основу водовідстійника та шарувато-неоднорідну товщу в умовах змін фільтраційних та геомеханічних властивостей внаслідок реакцій розчинення;

2) встановлений вплив вимушеної конвекції, що переважно (на 95%) визначає швидкість вилуговування органогенних вапняків у діапазоні мінералізації рудничних вод 10...50 г/л у порівнянні зі щільнісною конвекцією;

3) в розроблених розрахункових схемах щодо визначення втрат води з хвостосховищ та відстійників вперше детально враховано динамічні зміни властивостей порід основ в умовах їх фільтраційних деформацій;

4) чисельним та фізичним моделюванням вперше встановлений діапазон інтенсивності вилуговування монолітних зразків вапняку в рудничних водах та їх еквівалентах, а також збільшення тріщинної пористості та проникності породного масиву.

Наукове значення роботи полягає у встановленні закономірностей змін геомеханічних властивостей гірських порід, обумовлених міграцією мінералізованих рудничних вод, що становить теоретичну основу для визначення параметрів технічних рішень з локалізації гідродинамічного та фізико-хімічного впливу відстійників рудничних вод та хвостосховищ на масив гірських порід.

Практичне значення роботи:

1) розроблені та адаптовані до реальних об'єктів моделі фільтрації і масопереносу в неоднорідній товщі порід, що дозволило достовірно оцінити вплив міграції мінералізованих вод на геомеханічний стан масиву гірських порід;

2) за результатами прогнозування гідрогеохімічної обстановки центральної частини Кривбасу і ділянки Малишевського родовища Ti-Zr руд в умовах втрат з водовідстійників та хвостосховищ оцінені діапазони фізико-хімічних та гідродинамічних змін у масиві гірських порід;

3) запропоноване технологічне рішення пошарового укладання глинистого ґрунту і його ущільнення, що дозволяє на порядок зменшити проникність порід основи, скоротити фільтраційні втрати з хвостосховища на 60...70% і площу зони підтоплення в порівнянні з неущільненим екраном.

Обґрунтованість і вірогідність наукових положень, висновків та рекомендацій підтверджується: використанням фундаментальних законів теорії фільтрації та переносу в шарувато-неоднорідній товщі порід; базових положень геомеханіки; узгодженістю 80% результатів прогнозів з даними моніторингу при вирішенні зворотних задач; високою збіжністю результатів лабораторних досліджень та аналітичних оцінок; виконанням

розрахунків міграції підземних вод з використанням ліцензійного програмного забезпечення.

Реалізація результатів роботи. Результати досліджень впроваджено на ПАТ “Кримський Титан” у вигляді рекомендацій щодо екранування хвостосховища з метою попередження забруднення підземних вод при спорудженні хвостосховища відходів збагачення титано-цирконієвих руд на Мотронівсько-Аннівській ділянці Малишевського родовища.

Особистий внесок автора полягає у формулюванні мети, задач досліджень, наукових положень, висновків та рекомендацій; розробці чисельної моделі міграції розчинів змінної густини у шарувато-неоднорідній товщі порід з урахуванням фільтраційних деформацій вміщуючих порід; виконанні комплексу досліджень фізико-хімічних змін фільтраційних властивостей глинистих і карбонатних порід в умовах техногенної суфозії та карсту.

Апробація результатів дисертації. Основні матеріали дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на Міжнародній науково-практичній конференції “Екологічні проблеми техногенно-навантажених регіонів” (м. Дніпропетровськ, 2008), на Міжнародному форумі-конкурсі молодих вчених “Проблеми надрокористування” (м. Санкт-Петербург, 2010), на VIII Міжнародній науковій конференції студентів, аспірантів та молодих вчених “Географія, геоекологія і геологія: досвід наукових досліджень” (м. Дніпропетровськ, 2011), на II науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених “Наукова весна – 2011” (м. Дніпропетровськ, 2011), на Міжнародній науково-технічній конференції “Сталий розвиток промисловості і суспільства” (м. Кривий Ріг, 2012), на Міжнародній конференції “Енергетика, екологія та комп’ютерні технології в будівництві” (м. Дніпропетровськ, 2013).

Публікації. Основні наукові та практичні результати досліджень опубліковано в 14 наукових працях, з яких 7 робіт опубліковано в фахових виданнях, в т.ч. 2 – у зарубіжному виданні та журналі, що входить до наукометричної бази, 7 – у збірниках конференцій.

Структура й обсяг. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел зі 176 найменувань на 17 сторінках; містить 115 сторінок машинописного тексту, 31 малюнок, 18 таблиць, 2 додатки на 2 сторінках; загальний обсяг роботи 146 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Інтенсивний розвиток видобувної промисловості призвів до масштабних змін у геотехнічних системах гірничого профілю. Масштаб їх перетворень пов’язаний із різноманіттям природних та техногенних чинників, котрі призводять до часто незворотних порушень гідрогеохімічного режиму, що обумовлює зміни геомеханічних властивостей в масиві гірських порід.

Значною мірою порушення стійкості гірничопромислових районів пов’язано з втратами мінералізованих рудничних вод з відстійників, переважно через екрани з глинистих ґрунтів внаслідок їх фізико-хімічної взаємодії. У роботах Приклонського В.А., Окниної Н.А., Железнякова Г.В., Гольдберга В.М., Євграшкіної Г.П. та ін. оцінено зміни пористості й проникності глин різного хімічного складу внаслідок дифузійного вилуговування солей. Однак, різноманітність та багатофакторність процесів у системі “масив гірських порід – рудничні води” ускладнює їх параметризацію та уніфікацію підходу до їх прогнозування. Існуючі нині нормативні документи щодо проектування гідротехнічних споруд не враховують належним чином фільтраційні втрати рудничних вод із відстійників в умовах змін властивостей їх основ.

Аналітичні та чисельні моделі фільтрації в тріщинувато-пористому середовищі, що застосовуються на практиці, відповідають, переважно, простим гідрогеологічним умовам і не враховують структурні зміни порід при міграції розсолів, що супроводжуються реакціями розчинення.

Передумовами для активізації фільтраційних деформацій породного масиву є поширення на 74% території України карбонатних, сульфатних і галогенних порід. Причому суфозійні та карстові явища найбільш виражені у районах інтенсивного техногенного навантаження в зонах впливу відстійників шахтних і рудничних вод (Донбас, Кривбас).

Експериментальному вивченню фільтраційних деформацій карбонатних та сульфатних порід в умовах, що моделюють природне середовище, присвячені дослідження Маслова М.М., Соколова Д.С., Лаптева Ф.Ф., Дрейбродта В., Лехова О.В., Аксьома С.Д. та ін. Вплив іонного складу рудничних вод на кінетику вилуговування карбонатних порід належним чином не досліджувався. У роботах Короткевича Г.В., Ніколішина В.П., Артеменко П.Г., Педченко С.В., Мохонько В.І. та ін. вивчені закономірності фізико-хімічних змін властивостей галогенних та крейдо-мергельних порід, але слід зважати на те, що механізм їх розчинення відрізняється від вапняків. Пітьєвою К.Є. та Страховим Н.М. вивчалася динаміка розчинення подрібненого вапняку. Однак кінетика взаємодії порошку із розчином не відповідає дійсним швидкостям реакції на межі розділу фаз.

Наведені узагальнення з розглянутого комплексу питань дозволили сформулювати задачі досліджень дисертаційної роботи та визначити методичні підходи до їх виконання.

Для адекватного прогнозу фізико-хімічних змін властивостей в масиві гірських порід розроблена схема, яка адаптована до умов центральної частини Кривбасу, де найбільш виражені фільтраційні деформації, що обумовлені слабкою суфозійною стійкістю глинистих ґрунтів основ відстійників та втратами мінералізованих рудничних вод (рис. 1).

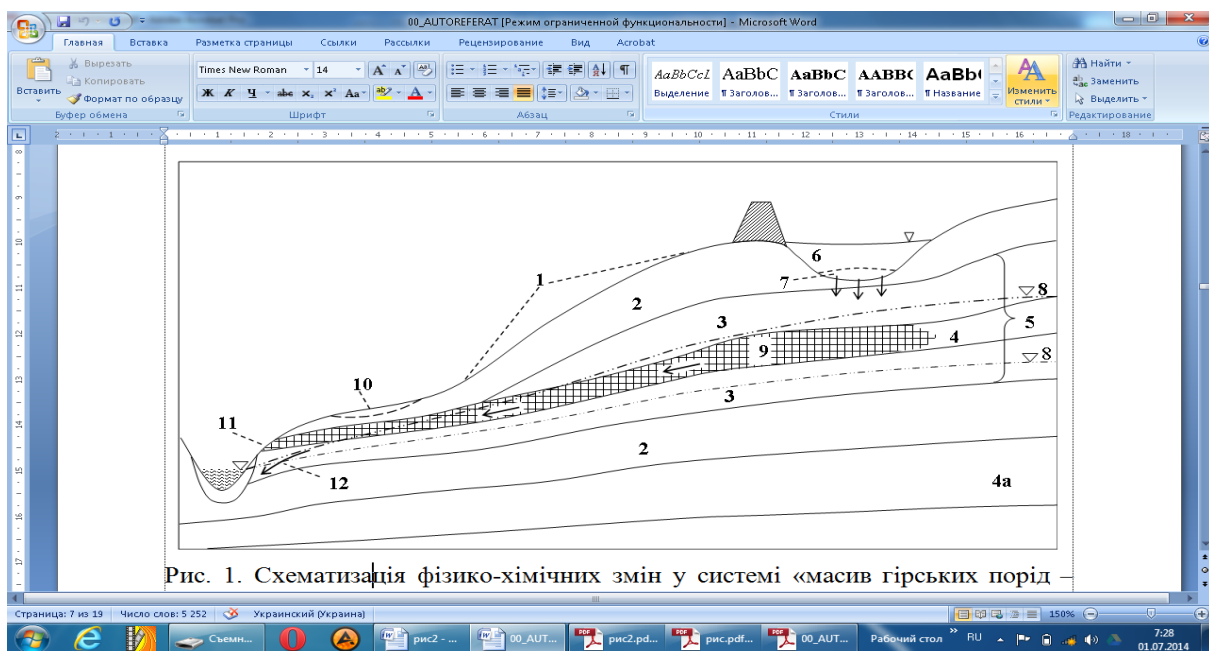


Рис. 1. Схематизація фізико-хімічних змін у системі «масив гірських порід

Рис. 1. Схематизація фізико-хімічних змін у системі “породний масив – рудничні води”: 1 – поверхня землі; 2 – глинисті породи; 3 – проникні дисперсні породи; 4, 4а – тріщинуваті, закарстовані осадові та магматичні породи; 5 – водоносний горизонт; 6 – відстійники шахтних та рудничних вод; 7 – зона суфозії; 8 – рівень підземних вод; 9 – зона міграції та карстово-суфозійних процесів; 10 – зона деформацій масиву; 11 – зона височування; 12 – підземний стік

Схема враховує, разом з природними чинниками (геоморфологічні особливості, літолого-петрографічні умови і геологічну будову території) також і геотехнічні умови: акумуляцію рудничних вод, їх фізико-хімічну взаємодію з породами основ, що зумовлює зміну їх фізико-механічних властивостей та втрати із водовідстійників, порушення природного режиму підземних вод, зміну їх хімічного складу і міграції, та вилуговування вмшуючих порід.

Для врахування змін ємнісних властивостей вміщуючих порід розроблена модель фільтрації та переносу у шаруватій товщі, яка в різних елементах геотехнічної системи відтворює планово-профільну фільтрацію в межах проникних та водотривких шарів в умовах коливання рівня підземних вод і враховує зміну пористості внаслідок карстоутворення. Вона базується на системі рівнянь руху підземних вод та міграції розчинених солей у шаруватій товщі масиву:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xs} m_s \frac{\partial H_s}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{ys} m_s \frac{\partial H_s}{\partial y} \right) + \frac{K'_{sl}}{m'_{sl}} (H_s - H_l) + Q_s = n_0 \frac{\partial H_s}{\partial t}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(D_{x,s} \frac{\partial C_s}{\partial x} - v_{x,s} C_s \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_{y,s} \frac{\partial C_s}{\partial y} - v_{y,s} C_s \right) - \lambda_s C_s = n_{e,s} \frac{\partial C_s}{\partial t}, \quad (2)$$

де s та l – індекси шарів; K_{xs} , K_{ys} – коефіцієнти фільтрації порід вздовж осей Ox , Oy ; m_s – потужність шару; H_s , H_l – гідравлічний напір; K'_{sl} – усереднений коефіцієнт фільтрації; m'_{sl} – середня потужність шарів, яка відповідає довжині шляху вертикальної фільтрації; Q_s – додаткове живлення за рахунок інфільтрації або перетоку; n_0 – активна пористість порід; t – час; D_s – коефіцієнт гідродинамічної дисперсії; C_s – концентрація солей у розчині; $v_{x,s}$, $v_{y,s}$ – компоненти швидкості фільтрації; λ_s – параметр масообміну між рідкою і твердою фазами в умовах суфозії та карсту; $n_{e,s}$ – ефективна пористість порід, що враховує рівноважну зворотну сорбцію і коефіцієнт розподілу $K_{d,s}$; $n_{e,s} = K_{d,s} + n_{0,s}$.

Чисельне рішення системи рівнянь виконано з використанням програмного комплексу Visual Modflow 2009.1. Модель адаптовано на прикладі відстійника мінералізованих рудничних вод у балці Свистуново в районі Південного ГЗК.

Порушення цілісності протифільтраційного покриття дна водовідстійника у б. Свистуново у 1976–1978 рр. спричинило втрату понад 21 млн. м³ мінералізованих рудничних вод, що призвело до формування суфозійно-карстових воронки і западин на території с. Новоселівка, розташованого в 3,5 км на північний захід від відстійника.

Розрахунок міграції рудничних вод виконано для території, що розташована в зоні впливу відстійників Південного та Новокриворізького ГЗК та охоплює область порушеного режиму живлення, транзиту і розвантаження підземних вод, а також проявів техногенного карсту. Площа області, що моделюється, становить 37,4 км², крок сітки – 200×200 м. З урахуванням високої мінливості фільтраційних властивостей порід (середньоквадратичне відхилення провідності $\sigma_{\text{INT}} = 0,6 \dots 1,4$) область апроксимована п'ятьма розрахунковими шарами: леси, глини, піски різнозернисті, вапняки кавернозні, піски дрібнозернисті, що послідовно представлені у вертикальному розрізі.

Схематизацію області міграції виконано шляхом пошарового завдання параметрів потужності водоносних та водотривких шарів, їх коефіцієнта фільтрації, інфільтрації, пористості, дисперсивності і коефіцієнта масообміну. Фільтраційні деформації внаслідок карстоутворення враховано шляхом зміни активної пористості вапняків у діапазоні 0,05...0,1 в ході рішення зворотних задач. У моделі адекватно відтворено інтенсивність “пакетних” надходжень мінералізованих вод у водоносну товщу порід протягом 28 років з моменту початку експлуатації відстійника рудничних вод у балці Свистуново та хвостосховищ “Об'єднане” та “Войкове” шляхом завдання змінних у часі техногенних джерел живлення граничними умовами другого роду.

Адекватність моделі об'єкту досліджень підтверджена шляхом рішення серії зворотних задач у стаціонарній та нестаціонарній постановці, що відтворює непорушений режим до початку міграції рудничних вод. Модель враховує процес осушення та повторного насичення порід, яке відбувається при періодичних фільтраційних втратах через основу відстійника.

Встановлено, що в природних умовах зона фільтрації формується в межах східної частини розрахункового шару сарматських вапняків та в шарі пісків. Водний баланс товщі тріщинуватих вапняків, що залягає над різнозернистими пісками, формується за рахунок

інфільтрації атмосферних опадів та водообміну між суміжними шарами. Суттєвий вплив на співвідношення між компонентами балансу робить розвантаження в р. Інгулець, а також взаємозв'язок підземних вод з тимчасовими водотоками балок. Доведено стійкість моделі при варіаціях параметрів інфільтраційного живлення та проникності до 30%, що відповідає посушливим і багатководним рокам та деформаціям порід в умовах суфозії та кольматації. За таких умов відхилення компонентів балансу не перевищує 7%.

Моделюванням встановлено, що фільтраційні втрати із відстійників призвели до підйому рівня підземних вод на 2...10 м та витіснення прісних вод розсолами, що внаслідок фізико-хімічних реакцій вилуговування призвело до збільшення пористості вапняків. Через зростання пористості в 2 рази відбулося зменшення вихідної концентрації на березі річки Інгулець на 9% через 28 років. ореол солоних вод формується безпосередньо під водовідстійником в тріщинуватих вапняках та різнозернистих пісках. Солоні води підвищеної мінералізації 5 г/л поширюються на відстань до 3 км у напрямку фільтраційного потоку, а площа їх розповсюдження досягає 25 км².

Для визначення зон фізико-хімічних змін породного масиву по вертикалі розроблена профільна модель фільтрації мінералізованих вод змінної густини, яка заснована на системі рівнянь руху прісних і солоних вод та міграції солей:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[\rho K_x \cdot \left(\frac{\partial h}{\partial x} + I_p \frac{\partial Z}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\rho K_z \cdot \left(\frac{\partial h}{\partial z} + I_p \frac{\partial Z}{\partial z} \right) \right] = \rho S_f \frac{\partial h}{\partial t} + n_0 \frac{\partial \rho}{\partial C} \cdot \frac{\partial C}{\partial t}, \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial C}{\partial x} - v_x C \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_z \frac{\partial C}{\partial z} - v_z C \right) = n_0 \frac{\partial C}{\partial t}, \quad (4)$$

де ρ – густина води при концентрації розчиненої речовини C ; K_x і K_z – коефіцієнт фільтрації прісної води вздовж осей Ox і Oz ; h – гідравлічний напір; $I_p = (\rho - \rho_f)/\rho_f$ – градієнт щільності потоку; Z – висота над площиною порівняння; S_f – коефіцієнт пружної ємності порід при фільтрації прісних вод, що враховує концентрацію C ; n_0 – активна пористість порід; D_x і D_z – коефіцієнти дифузії; v_x , v_z – компоненти швидкості фільтрації.

Моделювання виконано для профілю, що з'єднує відстійник у балці Свистуново з р. Інгулець. Модель дозволяє оконтурити зону змін фізико-механічних властивостей порід в умовах фільтраційних втрат із водовідстійників. Параметри пористості, коефіцієнта фільтрації та дифузії, дисперсивності уточнені при вирішенні зворотних задач, а вертикальний градієнт щільності фільтраційного потоку в діапазоні 0,01...0,05 відповідає умовам експлуатації відстійника.

На межі області фільтрації формулюються умови першого та другого роду у вигляді поверхневої інфільтрації атмосферних опадів та змінних у часі втрат із відстійника. Достовірно відтворено динаміку надходження солей із водовідстійника, та їх міграцію в найближчий водоток.

Встановлено, що область фізико-хімічних змін формується на відстані до 3 км від відстійника та розповсюджується до 30...35 м у вертикальному напрямку. Згідно моделюванню через 25 років з початку міграції солей мінералізація підземних вод в точці спостереження C поблизу с. Новоселівка досягла 2 та 10 г/л, при вихідних концентраціях рудничних вод у відстійнику 10 та 50 г/л (рис. 2). Визначено переважаючий вплив вимушеної конвекції, яка, у порівнянні зі щільнісною, на 95% визначає швидкість вилуговування органогенних вапняків. Результати моделювання на 80% узгоджуються із даними моніторингу.

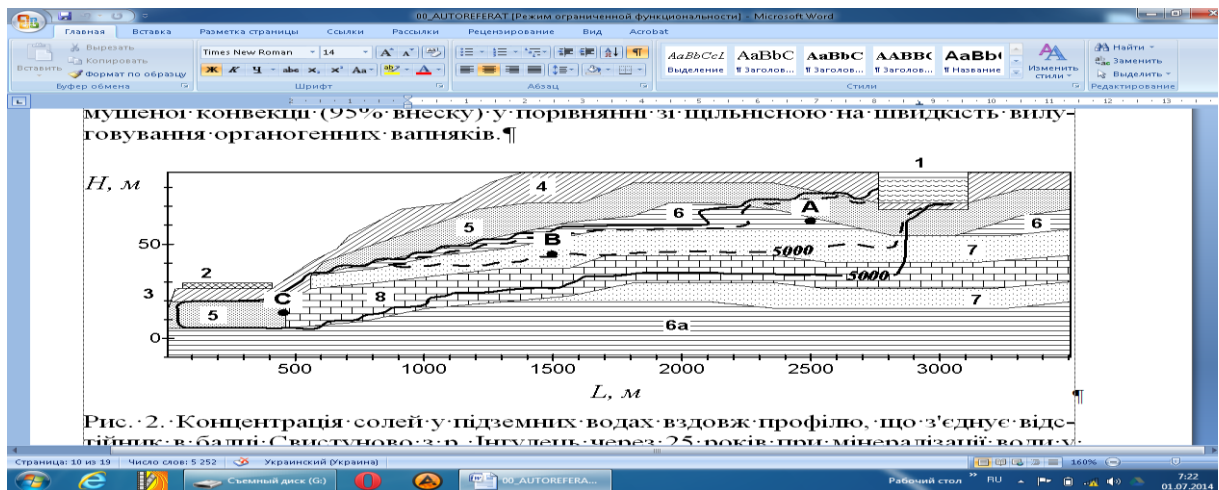


Рис. 2. Концентрація солей у підземних водах уздовж профілю, що з'єднує відстійник в балці Свистуново з р. Інгулець через 25 років при мінералізації води у відстійнику $C_0 = 10$ г/л – штрихова крива; $C_0 = 50$ г/л – суцільна крива: 1 – водовідстійник; 2 – с. Новоселівка; 3 – р. Інгулець; 4 – суглинки важкі, з прошарками лесових; 5 – пісок дрібнозернистий; 6 – глини; 6а – глини щільні; 7 – пісок різнозернистий; 8 – вапняк тріщинуватий; А, В, С – точки спостереження; стрілками позначено напрямок міграції солей у водоносному горизонті

Для оцінки параметрів фізико-хімічних процесів, що впливають на геомеханічну стійкість масиву гірських порід проведено комплекс лабораторних досліджень та чисельного моделювання. Експериментально визначено число пластичності зв'язного ґрунту, відібраного з екрануючого шару ложа відстійника в балці Свистуново, встановлено його гранулометричний склад методом Сабаніна та коефіцієнт фільтрації в приладах трьохосового стиснення і компресійно-фільтраційному конструкції Д.І. Знам'янського – В.І. Хаустова.

Аналіз результатів свідчить, що аналізований ґрунт є суглинком глинистим (число пластичності $I_p = 10,2\%$) з коефіцієнтом фільтрації $0,02 \dots 0,06$ м/сут, залежно від щільності початкового складання. Середні в гідравлічному відношенні діаметри пор цього ґрунту досягають $0,004$ мм, що може бути достатнім для винесення частинок меншого діаметру фільтраційним потоком. Їх вміст у ґрунті становить близько 31% . У комплексі ці показники свідчать про недостатню водотривку властивість ґрунту в основі відстійника та здатність запобігати фільтраційним втратам.

Для дослідження фізико-хімічних змін властивостей водотривких порід виконані експерименти в умовах високих градієнтів міграції мінералізованих вод. Встановлено, що зі збільшенням гідравлічного градієнту від 2 до 26 швидкість фільтрації рудничної хлоридно-натрієвої води з концентрацією солей до 30 г/л зростає в $2 \dots 14$ разів, що в $4 \dots 7$ разів вище порівняно зі швидкістю фільтрації прісної води та супроводжується збільшенням пористості суглинку глинистого до 4 разів (рис. 3).

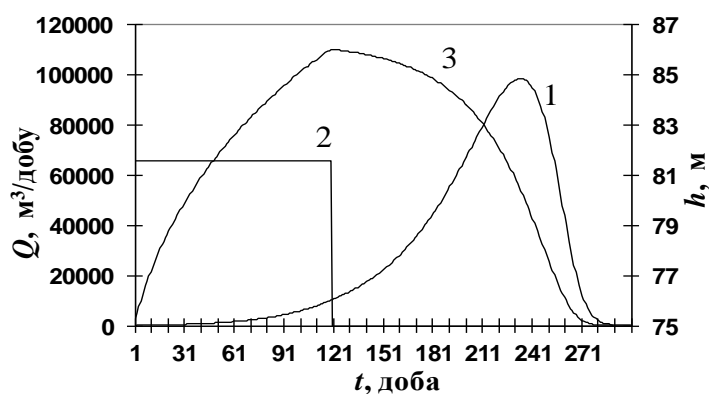
Згідно експериментально оцінених параметрів вологості суглинку глинистого на межі текучості та коефіцієнта пористості встановлено зниження питомого зчеплення ґрунту, кута внутрішнього тертя та модуля його деформації після вилугування, що призводить до втрати стійкості порід та формуванню суфозійних воронки у основі водовідстійника.

Рис. 3. Залежність швидкості фільтрації v прісної (1) та рудничної води (2) від гідралічного градієнту I

Для оцінки параметра хімічної суфозії в основі водовідстійника згідно даним моніторингу розроблена чисельна модель, яка базується на рівнянні балансу води у відстійнику, та враховує динамічні зміни фільтраційних властивостей суглинистого екрана. Модель відтворює одночасну фільтрацію через пори та гідралічну течію у тріщинах, що розширюються з часом. Параметри площі S і об'єму V в залежності від рівня води апроксимуються за допомогою усіченої піраміди. Зміну площі суфозійних каналів S_f в основі водовідстійника оцінено шляхом зворотного моделювання процесів, які супроводжували заповнення відстійника у б. Свистуново рудничними водами в 1976–1978 рр, та розраховано згідно рівнянню, що описує динаміку роз $\frac{dS_f}{dt} = \sigma S_f$ оці тріщин у часі:

$$\frac{dS_f}{dt} = \sigma S_f, \quad (5)$$

де σ – параметр інтенсивності хімічних реакцій розсолів з суглинками.

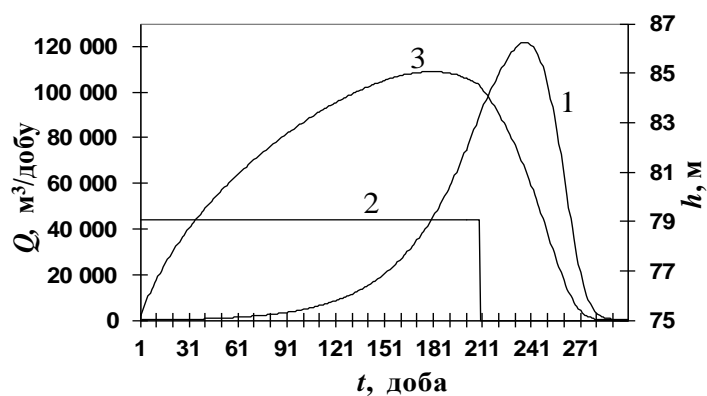


а)

В умовах неповноти даних про рівень води основним критерієм адекватності моделі було повне спустошення накопичувача до кінця періоду спостережень та обмеження рівня води максимальними відмітками.

Результати моделювання показали, що наповнення відстійника супроводжується спочатку невеликими, але швидко зростаючими втратами води, переважно за рахунок гідралічної складової, яка збільшується від 90 до 99,9% від загальної витрати витоків через 5–6 місяців (рис. 4, а).

Зменшення витрати скидання на 40% після



б)

Рис. 4. Динаміка фільтраційних втрат із відстійника у б. Свистуново в періоди: а) 22.03.1976 – 10.01.1977 рр.; б) 15.07.1977 – 13.04.1978 рр.;

1 – втрати із відстійника,
2 – витрата Q скидання рудничних вод,
3 – рівень води h

Встановлено кінетичний параметр, який склав $(82)10^{-3}$ 1/добу. В таких умовах розмір промоїн збільшується на один-два порядки та сягає 20 см через 9 місяців з моменту початку фільтрації.

Достовірність отриманих оцінок підтверджується натурними дослідженнями основи відстійника після фільтраційних втрат та результатами раніше проведених експериментів (В.А. Приклонський, 1952, В.М. Гольдберг, 1986).

З метою оцінки інтенсивності вилуговування карбонатних порід проведені експерименти по вилуговуванню монолітних зразків органогенного вапняку у рудничній воді та її розчинах-еквівалентах різного іонного складу і визначено концентрації Ca^{2+} в розчинах комплексометричним методом титрування. Передумовою для створення п'яти розчинів стало поширення у Криворізькому залізорудному басейні підземних вод різного складу переважно хлоридно-натрієвого типу, які з глибиною переходять в хлоридно-сульфатно-натрієві, магнієві. Встановлено, що найбільш агресивними відносно породи є руднична вода, відібрана в місці її скидання, та розчин, яким характерний підвищений вміст хлоридів та сульфатів магнію і натрію, хоча NaCl менше впливає на розчинення піщано-глинистих вапняків. Разом із високим вмістом $MgCl_2$, $MgSO_4$ та Na_2SO_4 , у сумішах також присутні солі Ca, які гальмують розчинення $CaCO_3$, та тим самим визначають дійсну швидкість фізико-хімічної взаємодії в системі “вапняк-руднична вода”.

Виконані експерименти дозволили встановити діапазон інтенсивності вилуговування іонів Ca^{2+} із монолітних зразків органогенного тріщинуватого вапняку залежно від іонного складу сумішей:

$$\alpha = \frac{(\Delta C_{Ca^{2+}} \cdot V_{solution})}{S_{sample}}, \quad \alpha = 1 \cdot 10^{-5} - 2 \cdot 10^{-4} \text{ г/см}^2 \cdot \text{добу}. \quad (6)$$

Тут $\Delta C_{Ca^{2+}}$ – приріст іонів у розчині; $V_{solution}$ – об'єм розчину; S_{sample} – поверхня вилуговування.

За методикою Ланжелє (W.F. Langelier, 1936) виконана оцінка насичення модельних сумішей карбонатом кальцію I , що дозволило встановити лінійну залежність інтенсивності вилуговування іонів Ca^{2+} від карбонатної агресивності вод (рис. 5).

Розраховані індекси насичення I змінюються в інтервалі від $-22,9$ до $-13,1$, що свідчить

відновлення дна влітку 1977 р. (рис. 4, б) практично не змінило тривалість осушення. Це свідчить про слабку суфозійну стійкість суглинистого екрану відстійника.

про схильність розчинів та рудничної води до розчинення вапняку. Найбільш агресивними щодо розчинення порід є руднична вода (точка 6) та модельні розчини №4 та №5, при цьому розчину №5 притаманні дещо зниженні концентрації CaSO_4 , CaCl_2 та NaCl . Висока збіжність результатів лабораторних досліджень та аналітичних оцінок методом Ланжельє підтверджується близьким до одиниці коефіцієнтом надійності рівняння регресії $R^2 = 0,9874$.

За допомогою формули Буссінеска визначено відповідне збільшення пористості органогенних вапняків (до 15%) та їх проникності (до 60%).

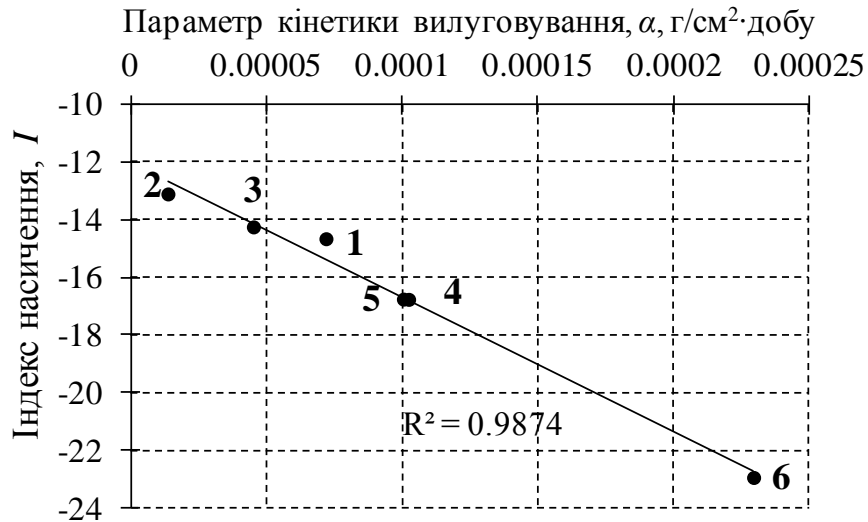


Рис. 5. Діапазон інтенсивності вилугування іонів Ca^{2+} в залежності від карбонатної агресивності вод: 1–5 розчини-еквіваленти рудничних вод, 6 – руднична вода з відстійника у б. Свистуново

Технічне рішення з локалізації впливу хвостосховищ та попередження деформацій породного масиву обґрунтовано на прикладі хвостосховища, що споруджується на Мотронівсько-Аннівській ділянці Малишевського родовища у верхній частині балки Широка (Вільногірський район Дніпропетровської області). Хвостосховище складається з двох секцій, розділених греблею з суглинку. Верхня секція “Б” призначена для прийому глинистої, а нижня “А” – кварцової фракції хвостів збагачувального виробництва (рис. 6).

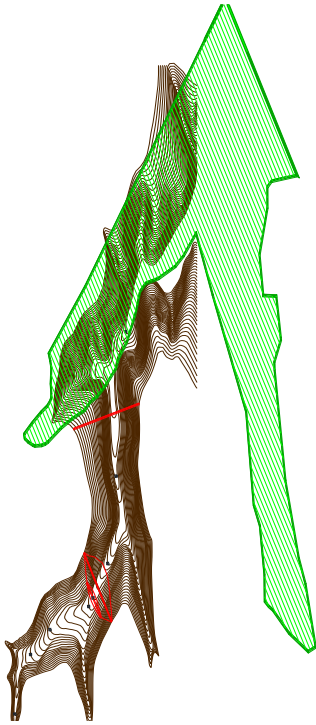


Рис. 6. Схема хвостосховища, що споруджується у балці Широкий

Зміни фізико-механічних властивостей ґрунтів основи хвостосховища оцінені шляхом розрахунку комплексної осадки масиву розкривних порід і глинистих ґрунтів в умовах їх консолідації:

$$S = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i \cdot h_i, \quad (7)$$

де ε – модуль осадки, який відповідає навантаженню P_i від розрахункового шару; h_i – його потужність.

Проникність порід, змінена під впливом консолідації та ущільнення, розраховано згідно залежності Козені-Кармана.

Обчислення виконані для двох варіантів експлуатації хвостосховища:

1) Використання природного протифільтраційного бар'єру – шару суглинку з коефіцієнтом фільтрації 0,04 м/сут.

2) Облаштування екрану з місцевих червоно-бурих глин неогенового віку, потужністю до 1 м та коефіцієнтом фільтрації 0,005 м/добу.

У розрахунках осадки прийнято допущення, що хвости наминаються рівномірно по всій площі хвостосховища, і початкове навантаження рівномірно поширюється на весь масив. Тоді висота намотої товщі та навантаження на основу змінні за площею та залежать від гіпсометрії поверхні.

Результати свідчать, що внаслідок компресії під вагою хвостів слід очікувати зниження проникності глинистих ґрунтів до 30% і коефіцієнта пористості до 13%, що попередньо дозволило оцінити збільшення питомого зчеплення у глин-суглинків в основі хвостосховища до 16...27%, кута внутрішнього тертя до 6...12% та модуля його деформації до 17...33%.

Подальші дослідження були зосередженні на обґрунтуванні параметрів екрану, що споруджується згідно запропонованій схемі пошарового технологічного ущільнення червоно-бурих неогенових глин.

Встановлено, що ґрунт, який укладається в основу хвостосховища повинен мати вологість в межах 17...21%. Ступінь ущільнення скелета глин повинна відповідати максимальній щільності ґрунту при його оптимальній вологості та досягати 1,74 т/м³.

Залежно від напору H на чашу сховища рекомендується створення екрану потужністю не менше 0,6 м методом укладання ґрунту шарами потужністю 0,2...0,35 м з подальшим їх ущільненням машинами з тиском на ґрунт до 0,2 МПа. Встановлено, що при дотриманні технології укладання та ущільнення ґрунту машинами можна досягти зменшення його коефіцієнта фільтрації до $6,5 \cdot 10^{-4}$ м/добу.

Фільтраційне обґрунтування параметрів потужності та проникності екрану виконано на підставі розрахунку балансу води у хвостосховищі, та чисельного моделювання фільтрації в зоні впливу хвостосховища у б. Широкий з використанням програмного забезпечення Visual Modflow 2009.1.

Згідно рівнянню водного балансу, записаного для кожної секції окремо, розроблено розрахункову схему для визначення фільтраційних втрат. Вона враховує надходження води з хвостами, поверхневий та підземний стік, осадки, випаровування, фільтрацію через греблю та основу хвостосховища, відбір води для зворотного водопостачання, та неоднорідність порід під шаром хвостів.

Установлено, що облаштування екрану призведе до підвищення рівня води у хвостах, що збільшить частку втрат на випаровування в загальному балансі з 3,9 до 13,1% для секції з піщаної фракцією, та з 22,4 до 34,7% для секції з глинистої фракцією. Залежно від способу екранування хвостосховища розраховано інтенсивність інфільтрації у водоносний горизонт в періоди заповнення хвостами б. Широка та після припинення їх подачі, яка склала 0,5...2,75 мм/добу.

Спорудження глинистого екрану дозволить скоротити фільтраційні втрати на 60...70% та площу зони підвищення рівня води в 2 рази, а також забезпечить можливість відбору води для зворотного водопостачання. Екранування хвостосховища не обов'язкове з точки зору запобігання підтоплення; за відсутності екрану зона його впливу не розповсюдиться до найближчих значущих об'єктів, однак буде ускладнений відбір води для зворотного водопостачання.

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій на підставі вперше встановлених закономірностей змін геомеханічних властивостей гірських порід, обумовлених міграцією мінералізованих рудничних вод, вирішена актуальна науково-практична задача, яка полягає у визначенні параметрів технічних рішень з локалізації гідродинамічного та фізико-хімічного впливу водовідстійників на масив порід.

Основні наукові та практичні результати дисертаційної роботи полягають у наступному:

1. Верифікована та адаптована на прикладі відстійника мінералізованих рудничних вод у балці Свистуново в районі Південного ГЗК чисельна модель фільтрації та переносу в шаруватій товщі порід, яка комплексно відображає планово-профільну фільтрацію в межах проникних та водотривких шарів в умовах коливання рівня підземних вод. У моделі враховані неоднорідність фільтраційних та міграційних параметрів проникності, дисперсивності і пористості, як у плані, так і у розрізі, та інтенсивність "пакетних" надходжень мінералізованих вод протягом експлуатації об'єкту.

2. Встановлено, що ореол солоних вод мінералізацією 5...50 г/л формується безпосередньо в органогенних кавернозних вапняках та різнозернистих пісках під водовідстійником на відстань до 3 км в напрямку фільтраційного потоку, причому площа ореолу сягає 25 км².

3. Створена профільна модель міграції вод змінної густини, яка адекватно відтворює зміни мінералізації води у відстійнику, неоднорідність фільтраційних властивостей вміщуючих порід. Встановлено, що область техногенного карстоутворення поширюється у вертикальному напрямку до 30...35 м. Доведено домінуючий вплив вимушеної конвекції (до 95%) на швидкість переносу солей у фільтраційному потоці при мінералізації рудничних вод 10...50 г/л.

4. Експериментальним шляхом встановлено, що зі збільшенням гідравлічного градієнту від 2 до 26, що відповідає діапазону градієнтів у основі відстійників, швидкість фільтрації рудничної хлоридно-натрієвої води з концентрацією солей до 33 г/л зростає в 2...14 разів, що в 4...7 разів вище швидкості фільтрації прісної води і супроводжується збільшенням пористості суглинку глинистого до 4 разів.

5. Розроблена чисельна модель водного балансу у відстійнику, яка детально враховує динамічні зміни властивостей суглинного екрану в умовах хімічної суфозії, і відтворює одночасну фільтрацію через пори та гідравлічну течію в тріщинах, що розширюються з часом. Шляхом зворотного моделювання встановлено, що кінетичний параметр інтенсивності хімічних реакцій розсолів з суглинками становить $(82)10^{-3}$ 1/добу. Це супроводжується збільшенням на один-два порядки розміру промоїн, що досягають 20 см через 9 місяців з моменту початку фільтрації.

6. Вперше експериментально встановлений діапазон інтенсивності вилуговування іонів Ca^{2+} із монолітних зразків органогенного тріщинуватого вапняку від $1 \cdot 10^{-5}$ до $2 \cdot 10^{-4}$ г/см²·добу залежно від іонного складу сумішей. Кінетика фізико-хімічних змін характеризується збільшенням пористості органогенних вапняків до 15% та їх проникності до 40...60%.

7. Обґрунтовані практичні рекомендації щодо екранування хвостосховища відходів збагачення Ti-Zr руд на Мотронівсько-Аннівській ділянці Малишевського родовища ПАТ "Кримський Титан". Дотримання технологічного рішення пошарового укладання глинистого ґрунту та його ущільнення дозволить на порядок зменшити проникність порід основи до $6,5 \cdot 10^{-4}$ м/добу, що забезпечить необхідну ступінь герметизації хвостосховища від фільтраційних втрат. Згідно розробленої балансової та чисельної моделей встановлено, що наявність екрану дозволить зменшити втрати з хвостосховища на 60...70% та площу зони підтоплення у порівнянні з неущільненими породами основи в 2 рази.

Основні положення та результати дисертації опубліковано в роботах:

У фахових наукових виданнях:

1. Воробйова Т.І. Прогнозування фізико-хімічних змін водотривких порід під впливом накопичувачів рудничних вод (на прикладі Кривбасу) / Д.В. Рудаков, Т.І. Воробйова // Науковий вісник НГУ. – 2008. – №5. – С. 63–66.

2. Перкова Т.И. Моделирование профильной фильтрации минерализованных рудничных вод из прудов-накопителей ЮГОКа / Т.И. Перкова, Д.В. Рудаков // Науковий вісник НГУ. – 2010. – №6. – С. 13–17.

3. Перкова Т.И. Идентификация трехмерной геофильтрационной модели техногенно-нагруженной территории центральной части Криворожского бассейна / Д.В. Рудаков, В.И. Тимошук, Т.И. Перкова, Е.А. Шерстюк // Науковий вісник НГУ. – 2011. – №5. – С. 21–25.

4. Перкова Т.И. Разработка и идентификация модели подземной миграции минерализованных шахтных вод в зоне расположения водоотстойников центрального Кривбасса / Т.И. Перкова, Д.В. Рудаков // Вісник Криворізького національного університету. – 2012. – вип. 31. – С. 122–126.

5. Перкова Т.И. Прогнозирование режима подземных вод при отработке Мотроновско-Анновского участка Малышевского месторождения / А.М. Лазников [и др.] // Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. науч. трудов. – Дн-вск., ПГАСА, 2013. – вып. №70. – С. 123–129.

6. Перкова Т.И. Оценка изменений фильтрационных свойств трещиноватых пород в условиях техногенного карста / Т.И. Перкова, Д.В. Рудаков // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М., 2014. – №3. – С. 304–308.

7. Перкова Т.И. Прогноз эффективности противофильтрационного экранирования хвостохранилища отходов обогащения титано-циркониевых руд / Д.В. Рудаков, Б.Е. Собко, С.З. Полищук, Т.И. Перкова // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2014. – №1. – С. 73–76 (наукометричне видання, Scopus).

У збірниках конференцій:

8. Воробйова Т.І. Прогнозування стійкості водотривких порід в умовах фільтрації з накопичувачів рудничних вод (на прикладі Кривбасу) / Д.В. Рудаков, Т.І. Воробйова // Екологічні проблеми техногенно-навантажених регіонів: матеріали міжнар. наук.-практ. конф., м. Дніпропетровськ, 12–14 трав. 2008 р. – Дніпропетровськ, 2008. – С. 162–163.

9. Perkova T. Acid mine drainage treatment technologies as a tool to solve environmental problems / T., Perkova // Widening Our Horizons: The 4th International Forum for Students, March 26-27, 2009: Abstracts. – Dnipropetrovs'k, 2009. – P.189.

10. Перкова Т.І. Моделирование фильтрации рассолов в зоне влияния накопителей рудничных вод (на примере Кривбасса) / Т.И. Перкова, Д.В. Рудаков // Проблемы недропользования: труды междунар. науч.-практ. конф., г. Санкт-Петербург, 21–23 апр. 2010 г. – СПб., 2010. – Ч. 2. – С. 121–123.

11. Перкова Т.И. Разработка и идентификация пространственной геофильтрационной модели техногенно-нагруженной территории центральной части Кривбасса / Т.И. Перкова, Е.А. Шерстюк // География, геоэкология, геология: опыт научных исследований: матер. VIII междунар. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Днепропетровск, 11–14 мая 2011 г. – Днепропетровск, 2011. – вып. 8. – С. 144–145.

12. Перкова Т.И. Оценка фильтрационных деформаций вмещающих пород вследствие миграции рудничных вод [Электронный ресурс] / Т.И. Перкова, Д.В. Рудаков // Наукова весна – 2011: II наук.-практ. конф. студентів, аспірантів і молодих вчених, 25 березня 2011 р.: тези доп. – Дніпропетровськ, 2011. – 1 опт. диск (CD-ROM); 12 см. – Систем. вимоги: Pentium 2; 32 Mb RAM; Windows 95-XP; MS Word 95-2007; Назва з титул. екрану. – С. 127 – 129.

13. Perkova T. Three-dimensional model creation of ground water seepage in mining zones (Kryvyi Rih iron ore basin) / Y., Sherstuk, T., Perkova, U., Demchenko // Technical and geoinformational systems in mining: proceedings of the school of underground mining, October 2–8, 2011. – Dnipropetrovs'k/Yalta, 2011. – P. 181–185.

14. Перкова Т.И. Моделирование подземной миграции минерализованных шахтных вод в зоне расположения водоотстойников Центрального Кривбасса / Т.И. Перкова, Д.В. Рудаков // Сталий розвиток промисловості та суспільства: міжнар. наук.-техн. конф., (22–25 трав. 2012 р., м. Кривий Ріг): тези доп. – Кривий Ріг, 2012. – С. 11–14.

Особистий внесок автора у роботи, що надруковані у співавторстві:

[1, 5, 8] – розробка розрахункових схем та кількісна оцінка гідродинамічного та фізико-хімічного впливу водовідстійників та хвостосховищ на породний масив; [2, 4, 10, 12, 14] – верифікація моделей фільтрації та міграції рудничних вод, рішення зворотних задач, аналіз результатів; [3, 11, 13] – розробка моделі планово фільтрації; [6] – обґрунтування технологічного рішення щодо екранування хвостосховища, формулювання рекомендацій; [7] – постановка задач досліджень та проведення експериментів по вилугованню вапняку.

АНОТАЦІЯ

Перкова Т.І. “Закономірності фізико-хімічних змін масиву гірських порід в основах відстійників мінералізованих рудничних вод”. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.09 – “Геотехнічна і гірнична механіка” – Державний вищий навчальний заклад “Національний гірничий університет”, Дніпропетровськ, 2014.

Дисертація присвячена визначенню закономірностей змін фільтраційних та геомеханічних властивостей гірських порід в основах відстійників рудничних вод та хвостосховищ, обумовлених міграцією мінералізованих рудничних вод, що є теоретичним підґрунтям для визначення параметрів технічних рішень з локалізації гідродинамічного та фізико-хімічного впливу відстійників рудничних вод та хвостосховищ на масив гірських

порід з метою попередження фільтраційних деформацій.

Методам чисельного моделювання фільтрації та міграції вод змінної густини оцінена зона гідродинамічних та фізико-хімічних змін у масиві порід внаслідок втрат мінералізованих вод з відстійників та хвостосховищ на прикладі об'єктів у центральній Україні.

Установлено, що процес фізико-хімічної взаємодії рудничних вод з суглинистими породами основ водовідстійників в умовах високих гідравлічних градієнтів супроводжується зростанням швидкості фільтрації за кубічною залежністю, що призводить до збільшення проникності суглинка та змін його фізико-механічних властивостей. Експериментально визначено параметр кінетики вилуговування іонів Ca^{2+} із органічного вапняку внаслідок міграції мінералізованих рудничних вод, що дозволяє адекватно оцінювати масштаб техногенного карсту карбонатних порід.

Обґрунтовано технологічне рішення з локалізації впливу хвостосховищ на породний масив з метою попередження фільтраційних деформацій.

Ключові слова: відстійники, протифільтраційні покриття, фільтраційні втрати, міграція солей, кінетика вилуговування, проникність ґрунту, фізико-механічні властивості.

АННОТАЦИЯ

Перкова Т.И. “Закономерности физико-химических изменений массива горных пород в основаниях отстойников минерализованных рудничных вод”. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.09 – “Геотехническая и горная механика”. Государственное высшее учебное заведение “Национальный горный университет”, Днепропетровск, 2014.

В диссертационной работе решена актуальная научно-практическая задача по установлению закономерностей физико-химических изменений массива пород в результате миграции минерализованных рудничных вод, которые определяют его геомеханические свойства.

Разработаны численные модели фильтрации и миграции солей в слоисто-неоднородной толще для территории, расположенной в зоне воздействия отстойника и хвостохранилищ ЮГОКа и НКГОКа (Кривбасс) с учетом изменений геоимеханических свойств пород. Это позволило достоверно оценить зону гидродинамического и физико-химического влияния водоотстойника на массив пород. Доказана устойчивость модели при вариациях параметров инфильтрационного питания и проницаемости до 30%, которые соответствуют засушливым и многоводным годам и деформациям пород вследствие суффозии и кольматации. Это подтверждается отклонениями компонентов баланса не превышающим 7%. Моделированием установлено, что ореол соленых вод, в результате фильтрационных потерь из отстойников, формируется непосредственно в органических известняках и разнозернистых песках под водоотстойником на расстояние до 3 км в направлении фильтрационного потока, причем его площадь достигает 25 км².

Создана профильная модель фильтрации минерализованных рудничных вод переменной плотности, которая позволяет прогнозировать область фильтрационных деформаций пород по вертикали. Установлено, что область техногенного карстообразования распространяется до 30...35 м в вертикальном направлении. Определено доминирующее влияние вынужденной конвекции на скорость переноса солей в фильтрационном потоке, что позволило не учитывать плотностной эффект при разработке плановой модели миграции.

Экспериментально установлено, что процесс физико-химического взаимодействия минерализованных рудничных вод с породами оснований отстойников в условиях высоких гидравлических градиентов сопровождается увеличением скорости фильтрации по кубической зависимости, что приводит к увеличению пористости суглинка глинистого. На основании экспериментально оцененных параметров влажности и коэффициента пористости

установлено снижение прочностных и деформационных свойств, что вызывает потерю геомеханической устойчивости массива и формированию суффозионных промоин в основании водоотстойника.

Для оценки параметра химической суффозии в основании отстойника рудничных вод в Кривбассе разработана численная модель, которая основывается на уравнении баланса воды в нем, и воспроизводит одновременную фильтрацию через поры и гидравлическое течение в трещинах, расширяющихся со временем. Путем обратного моделирования оценен параметр интенсивности химических реакций рассолов с суглинками, который составил $(82)10^{-3}$ 1/сут, а также проницаемость основания и динамика утечек рудничных вод из отстойника.

Проведены эксперименты по выщелачиванию монолитных образцов известняка растворами различного химического состава, которые позволили количественно оценить кинетику выщелачивания кальция из органогенного известняка. Повышенные концентрации хлоридов и сульфатов магния и натрия в растворах интенсифицируют растворение соли, а общие с CaCO_3 ионы понижают ее растворимость. Выполнена оценка насыщения модельных смесей карбонатом кальция, которая позволила установить линейную зависимость интенсивности выщелачивания ионов Ca^{2+} от карбонатной агрессивности вод.

Экспериментально установлен диапазон интенсивности выщелачивания монолитных образцов известняка в рудничных водах и их эквивалентах, а также увеличение трещинной пористости и проницаемости породного массива, что дает возможность оценивать масштаб карста карбонатных пород при миграции минерализованных рудничных вод.

Обосновано техническое решение по локализации влияния хвостохранилища отходов переработки Ti-Zr руд, сооружаемого на Мотроновско-Анновском участке Малышевского месторождения в верхней части балки Широкая. Выполнена оценка изменений физико-механических свойств пород основания путем расчета комплексной осадки массива вскрышных пород и глинистых грунтов в условиях их консолидации.

Установлено, что вследствие компрессии уменьшается проницаемость суглинка под слоем хвостов и коэффициент пористости. Соблюдение технологии укладки и уплотнения глин в основании хвостохранилища позволяет на порядок уменьшить их проницаемость до $6,5 \cdot 10^{-4}$ м/сут, что способствует геомеханической стабилизации массива, и является достаточным для водоудерживающей способности основания согласно современным нормативным требованиям.

Выполнено фильтрационное обоснование параметров мощности и проницаемости экрана на основании разработанных расчетной схемы баланса воды в хвостохранилище б. Широкая и численной модели фильтрации, учитывающих различные способы экранирования. Показано, что устройство экрана приведет к сокращению фильтрационных потерь и площади зоны подтопления по сравнению с неуплотненными породами основания; отсутствие экрана может осложнить отбор воды для оборотного водоснабжения.

Ключевые слова: отстойники, противофильтрационные покрытия, фильтрационные потери, миграция солей, кинетика выщелачивания, проницаемость грунта, физико-механические свойства.

ABSTRACT

T. Perkova. "The patterns of physical-chemical changes in rocks below impoundments of mineralized mine water". – Manuscript.

Thesis for Candidate's degree with a specialization in 05.15.09 – "Geotechnical and mining mechanics". – State higher educational establishment "National Mining University", Dnipropetrovsk, 2014.

The thesis aims to identify the patterns of changes of permeability and geomechanical properties of rocks below mine water impoundments and tailings caused by leaks and transport of mineralized mine water. This creates the theoretical basis to evaluate parameters of engineering

solutions in order to localize hydrodynamical and physical-chemical impacts of mine water impoundments and tailings on rocks to prevent from flow-induced deformation of rocks.

The zone of hydrodynamical and physical-chemical changes in rocks induced by mineralized water seepage through impoundments and tailings has been estimated on the example of sites located in Central Ukraine by means of numerical simulation of variable density flow and transport.

It is established that the physical-chemical interactions between mine water and clay loam at the bottom of impoundments at high hydraulic gradients increase water flow velocities, which is described by cubical parabola. This, in turn, leads to increasing permeability of loam and changes its physical and mechanical properties. The kinetical parameter of leaching Ca^{2+} ions from organic limestone as a result of mineralized mine water transport has been evaluated experimentally; this allows assessing adequately the scale of man-caused karst in carbonate rocks.

The engineering solution to mitigate the impacts of tailing facilities on rocks by preventing flow-induced deformation of the impoundment bottom has been substantiated.

Key words: impoundments, impervious screen, leakages, solute transport, leaching kinetics, soil permeability, physical and mechanical properties.

ПЕРКОВА Тетяна Іванівна

**Закономірності фізико-хімічних змін масиву гірських порід в основах
відстійників мінералізованих рудничних вод**

(Автореферат)

**Підп. до друку 04.09.2014. Формат 60x90/16.
Папір офсетний. Ризографія. Ум. друк. арк. 0,9.
Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 120 пр. Зам. № 105.**

**Державний вищий навчальний заклад
“Національний гірничий університет”
49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.**