УДК 556.3:553.98

DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.91.09>

Я. Малькова, асп.,

ORCID iD 0000-0002-6215-9901,

E-mail: malkovayanakiev@gmail.com;Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна;

Є. Яковлев, д-р техн. наук,

ORCID iD 0000-0001-6562-4015,

E-mail: yakovlev1939@mail.ua;

В. Долін, д-р геол. наук, проф.,

ORCID iD 0000-0001-6174-2962,

E-mail: vdolin@ukr.net;

ДУ "Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України",

пр. Акад. Палладіна, 34, а, м. Київ, 03680, Україна

ЕКОЛОГО-ТЕХНОГЕННІ ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ РОЗСОЛІВ ДОМБРОВСЬКОГО КАР'ЄРУ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, ст. наук. співроб. О.Л. Шевченком)

Домбровський кар'єр, який експлуатувався з 1967 р., єдиний у світі, де відкритим способом видобувалася калійна руда. У статті розглядається механізм формування тіла водно-солевих розсолів у Домбровському кар'єрі та наведено стислий огляд проблем, які виникли внаслідок тривалої розробки Калуш-Голинського родовища калійних солей і накопичення відходів у зоні гідралічно-геофільтраційного впливу виробництва. До таких проблем належать затоплення Домбровського соляного кар'єру, розмив солевмісних відвалів атмосферними опадами, переповнення хвостосховищ, забруднення вод четвертинного надсолевого водоносного горизонту та небезпека істотного погіршення якості води в міському водозаборі, розвиток соляного карсту та просідання земної поверхні над виробленим простором шахт з деформацією чи руйнуванням інженерних споруд, житлових будівель тощо. Проаналізовано аналітичні дані щодо динаміки водопритливів до кар'єру і збільшення зони дренажного впливу прибортової частини кар'єру, що супроводжується осушенням кільцевої дренажної траншеї – відриє рівня підземних вод від ложа, розвитком карстоутворення по периферії кар'єру (до 250–350 м і більше), аномальним збільшенням глинисто-пилових фракцій у стічних водах кар'єру після повені 2008 р. з одночасним зростанням водопритливів. Згідно з дослідженнями можна зробити висновки щодо розвантаження рідкого тіла наповнення кар'єру в товщу галечникового надсолевого водоносного горизонту, заповнення карстових порожнин, розмивання бортів, зростання обсягу чаші кар'єру та розміру області дренажу ґрунтових вод алювіальних гравійно-піщаних відкладів терас річок Сівка та Лімниця.

На основі отриманих результатів зроблено висновок щодо загрози розвитку надзвичайної ситуації та погіршення безпеки життєдіяльності на територіях з порушеними екологічними параметрами геологічного середовища. Існує необхідність штучного коригування прогностичних екологічних параметрів довкілля за даними моніторингових спостережень.

Ключові слова: родовище, соляні розсоли, карстово-суфозійний процес, надзвичайна ситуація, водопритливі.

Вступ. Калуш-Голинське родовище калійних солей розташовано у фронтальній північно-східній частині Самбірського покриття внутрішньої зони Передкарпатського прогину. Самбірський покрив, виконаний утвореннями нижніх і верхніх молас, зірваний зі своєї основи та насунутий на зовнішню (Більче-Волицьку) зону прогину. Фронт Стебницького насуву (границя Самбірського насуву) розміщений на північному заході неподалік від м. Калуш. Для Калуш-Голинського родовища в геологічному розрізі характерно моноклінальне залягання соленосних товщ, ускладнених насунутою та розломною тектонікою, що зумовило розділення моласових відкладів на низку блоків, повторення розрізу та багаторазове повторення лінзоподібних калійних покладів у соленосній товщі.

Розріз родовища калійних солей складено породами стебницької світи, перекритими відкладами балицької світи і галицької серії нижнього міоцену. Стебницька світа представлена переважно глинами із прошарками пісковиків та алевролітів. Балицька світа поділяється на нижню і верхню. Нижньобалицька світа представлена мергелями, над якими залягає соленосна товща з гіпсоангідритовим горизонтом у підшві. Соленосна товща (соленосна брекчія з галітовим цементом) уміщує калійний пласт лангбейніт-каїнітового складу та вкраплення карналіту і сильвініту. Калієносні поклади перекриваються четвертинними утвореннями, представленими суглинками і галечниками загальною потужністю 5–30 м. У зоні вивітрювання порід соленосної товщі розвинута гіпсо-глиниста "шапка", потужністю від 3 до 30 м. Верхньобалицька світа представлена глинами, алевролітами і мергелями з прошарками галіту. Породи балицької світи перекриті четвертинними гравійно-гальковими відкладами (водоносним горизонтом питної води), суглинками та частково відкладами галицької серії, які складаються з мергелів,

пісковиків, глини туфитів богородчанської світи, гіпсів та ангідритів тиранської світи, мергелями, глинами і туфами косовської світи, а також глинами з пісковиками, алевролітами і конгломератами бугловського горизонту. Серед цих порід виявлені карстові воронки діаметром від 0,3 до 1,0 м, які виповнені різнозернистим піском і галькою. Закономірність їхнього розподілу не встановлена.

У межах родовища містяться три водоносні горизонти: верховодка, гравійно-гальковий водоносний горизонт і води соляного дзеркала. Верховодка приурочена до суглинків і залягає на глибині до двох метрів; для неї характерний непостійний режим, залежний від кліматичних умов. Гравійно-гальковий водоносний горизонт має площинне поширення та активне інфільтраційне живлення і є єдиним у цьому районі горизонтом питної води. Часткове розвантаження його потоку витрачається на поновлення карстових вод по товщі піско-глинистої "шапки" і соленосних відкладів (Кореневський та Донченко, 1963).

Постановка проблеми. Каїніт-лангбейнітові калійні руди з високим вмістом галіту та глинистих мінералів видобували понад 100 років шахтним і кар'єрним (від 1967 р.) способом. Домбровський кар'єр – єдиний у світі, де відкритим способом видобувалася калійна руда. До 2008 р. окремо існували північна та південна дільниці, які поступово наповнювалися водами та збільшувалися в об'ємі (рис. 1, а, б). Після гідралічного сполучення обох дільниць у результаті масштабної повені 2008 р., збільшеного надходження до кар'єру атмосферних опадів і ґрунтових вод (рис. 1, с, d та е), через відсутність ефективної (захисної) дренажної системи круті укоси стали дуже нестабільними. У північній частині кар'єру прогресують карстові утворення, що супроводжуються виникненням великих промоїн у напрямку р. Сівка, яка є притокою р. Дністер.

Рис. 1. Космічні знімки Домбровського кар'єру. Джерело: інтернет-ресурс "Google Earth"

На кар'єрі роботи велись за транспортною системою розробки з вивезенням автосамоскидами розкривних порід на зовнішні та внутрішні відвали, руди – до дробарного цеху. Розпушення руди і скельних розкривних порід проводилось буро-вибуховим способом, що сприяло зниженню щільності солепородного масиву, формуванню водопроникних тріщинних і розущільнених (полаблених) ділянок, активізації зон потенційного карстоутворення.

Видобуток калійних руд супроводжувався складуванням розкривних порід із вмістом легкорозчинних солей до 70 % у двох солевідвалах на східному борті Домбровського кар'єру (Семчук та Малишевська, 2002). У процесі збагачення калійних руд утворювалися значні об'єми солевмісних відходів, які розміщували у хвостосховищах і шламонакопичувачі (рис. 2).

Пухкі розкривні породи розроблялися чотирма уступами висотою до 10 м з організацією селективного виїмання: ґрунтово-рослинного шару, суглинків, галечників і гіпсо-глинистого покриву (кепрок). Скельні розкривні породи та рудний поклад з урахуванням їхньої підвищеної геомеханічної стійкості розроблялися уступами висотою до 15 м.

За весь період експлуатації з Домбровського кар'єру вилучено 35,4 млн м³ розкривних порід і 14,7 млн м³ калійної руди, разом – 50,1 млн м³ гірничої маси.

Геоінфільтраційне поле Домбровського кар'єру. Механізм утворення соляних розсолів у Домбровському кар'єрі – це переважно результат взаємодії атмосферних опадів із соленосними породами, тому їхній об'єм і баланс залежать від кількості опадів, обсягів розвантаження ґрун-

тового водоносного горизонту, площі водозбору та тривалості контакту рідкої (водної) і твердої (сольової) фаз. Площа водозбору в межах кільцевої дренажної траншеї

(КДТ) кар'єру становить 180 га. Об'єм утворюваних розсолів лише внаслідок інфільтрації атмосферних опадів (середня норма 700 мм/рік) становить 1,1 млн м³ на рік.

Рис. 2. Оглядова карта Калуш-Голинського родовища.

Рудники: I – "Калуш", II – "Нова Голинь", III – Домбровський кар'єр; шахтні поля: 1 – Північне каїнітове, 2 – Центральне каїнітове, 3 – Хотинське Сильвінітове, 4 – Східна Голинь, 5 – Сивка-Калуська; А – хвостосховища, Б – акумулюючі ємності, В – відвали кар'єру (Шуровський та ін., 2012)

Основним джерелом формування сталих водопритоків до Домбровського соледобувного кар'єру є водонесний комплекс четвертинних надсольових пухких відкладів: суглинки, переважно у верхній частині розрізу, які донизу переходять у піщано-гравійно-галькові водопроникні відклади. Вміст валунної фракції сягає 10–12 %, гальки – 35–60 %, гравію – від 13,5 до 52 %, піску – від 35 до 60 %, пилуватих і глинистих частинок – 0,2–6,5 %. Загальна товщина галькових відкладів змінюється від 1–3 до 8–11 м. Гідрогеофільтраційною особливістю піщано-гравійно-галькового водоносного горизонту є здатність до суфозійного винесення дрібнозернистих глинисто-пилових частинок при локальному збільшенні гідравлічного градієнта потоку або при місцевих деформаціях і зрушеннях водонасиченої товщі. Аналіз змін структури потоку піщано-гравійно-галькового горизонту в умовах формування депресійної воронки Домбровського кар'єру, місцевих зон підпірного живлення хвостосховищ і шламосховищ свідчить про сполучений вплив карстово-суфозійного процесу на розуцільнення порід і збільшення їхньої проникності.

За даними дослідно-фільтраційних робіт, коефіцієнти фільтрації надсольового горизонту у природному стані дорівнюють 1,2–2,0 м/добу (2,8–4,0 м/добу біля русла р. Сівка).

Зона Домбровського кар'єру в геолого-гідрогеологічному плані відрізняється мінімальними глибинами залягання сольового дзеркала (поверхні сольової товщі) та наявністю напірно-безнапірного піщано-гальково-гравійного горизонту в підшві пухких покривних порід. Розкриття кар'єрного поля в даних умовах призвело до активізації карстово-суфозійних процесів, збільшення інфільтрації атмосферних опадів унаслідок карстово-суфозійного розуцільнення покривних порід, передусім над карстовими

каналами та лійками (так званий "тунельний ефект"), прискореного руху підземних вод на межі із сольовим дзеркалом, збільшення міграції розчинних складових солерудного масиву до виробничого простору Домбровського кар'єру. Зростання витрат підземних вод при цьому збільшує їхню агресивність до солепородного масиву прикар'єрної зони та мінералізацію дренажних вод.

Створення КДТ майже на врізі уступу Домбровського кар'єру (замість відступу на 250 м за первинним проектом) істотно зменшило її гідрозахисну здатність і збільшило гідравлічні градієнти підземного потоку з поступовим зростанням суфозійного винесення глинисто-пилових фракцій та активізацією локального (точкового) і лінійного (канално-гідравлічного) карстоутворення.

Унаслідок цих процесів під впливом депресійної воронки, яка має наближену до площинно-радіальної структуру, гідрогеофільтраційне поле Домбровського кар'єру набуло строкатої неоднорідності. Загалом прийнято виділяти такі елементи гідрогеофільтраційного поля Домбровського кар'єру, які переважно пов'язані з його технологічними об'єктами: кар'єрне поле (дві дільниці), кільцева дренажна траншея, відвали, акумулюючі ємності, відвідний канал р. Сівки.

Мета досліджень полягала у виявленні причин, діючих чинників, а також математичному описанні динаміки й основних закономірностей та масштабів розвитку небезпечних процесів у зоні впливу Домбровського кар'єру.

Основні результати. Динаміка водопритоків до кар'єру оцінювалася за даними ДП "Калійний завод", ДП НДІ "Галургія" та ІФНТУНГ за період 1967–2013 рр. (рис. 3). Динаміка інтегрального водопритоку має експоненційний характер залежності від часу та з високою достовірністю описується кривою вигляду

$$V = a + b \cdot e^{k_B t}, \quad (1)$$

де k_B – константа швидкості водоприпливу, яка має розмірність рік^{-1} . Величина k_B становить $0,071 \text{ рік}^{-1}$, що в межах 15 % збігається з попередніми оцінками, де не враховувалися дані після 2009 р. (Долін та ін., 2010).

Аналіз динаміки абсолютних відміток рівня розсолів Домбровського кар'єру дозволяє виділити протягом його експлуатації кілька часових періодів (рис. 4). Перший – від початку експлуатації (1967) – відмітка +175 м південної ділянки – до повені 2008 р., коли рівні південної північної ділянки зрівнялися – відмітка 255,4 м. У цей період заповнення кар'єру стримувалося штучним перехопленням водоприпливів, відкачуванням води з кільцевої дренажної траншеї, закачуванням розсолів у шахти тощо. Другий період розпочався після повені 2008 р., гідралічного сполучення південного і північного кар'єрних полів і продовжувався до початку 2017 р. У цей період заходи щодо перехоплення водоприпливів виявилися неефективними у зв'язку з руйнуванням і втратою дренажної здатності КДТ, збільшенням площі водозбору, інфільтраційного живлення внаслідок суфозійного

рихлення перекривних порід і, можливо, інтенсифікації витоків зі шлаго- і хвостосховищ. Слід зазначити, що відкачування розсолів у шахти неістотно уповільнювало заповнення кар'єру. Природно, що протягом обох періодів спостерігається зниження темпів зростання абсолютних відміток поверхні розсолів, що пов'язано з розширенням чаші кар'єру. На кінець березня 2017 р. рівень розсолів у кар'єрі досягнув відмітки +277,5 м, що відповідає найнижчому рівню прісного водоносного горизонту (найнижча абсолютна відмітка підосви водоносного горизонту в межах зовнішнього контуру кар'єру по осі КДТ становить 274,0 м, найвища – 293,0 м). Нині товща розсолів створює гідралічний підпір прісним водам підземного горизонту, що визначає зміну умов водного балансу об'єкта та початок третього умовного періоду квазістабільного наповнення кар'єру. Головною характерною рисою цього періоду стала можливість відносної просторово-часової стабілізації дзеркала поверхні розсолів за незначних перевищень підосви надсольового горизонту.

Рис. 3. Інтегральна (наростаючим підсумком) динаміка водоприпливів до кар'єру.

Точками позначено експериментально-розрахункові дані ДП "Калійний завод", ДП НДІ "Галургія" та ІФНТУНГ

Динаміка абсолютних відміток поверхні розсолу в кожному з виділених періодів досить точно апроксимується кривою вигляду

$$H = H_0 + H_1 \cdot (1 - e^{-k_H t}), \quad (2)$$

де H_0 – початкова абсолютна відмітка для кожного з періодів, м; $H_0 + H_1$ – максимальна абсолютна відмітка дзеркала поверхні розсолу при збереженні темпів заповнення кар'єра в кожному з періодів, м; k_H – константа швидкості зростання абсолютних відміток поверхні дзеркала розсолу, рік^{-1} ; t – час, роки з нульовою точкою відліку для кожного з періодів.

Виходячи зі співвідношення k_H за відповідні періоди, можна зробити висновок, що підняття абсолютних відміток поверхні дзеркала розсолів у період 2008–2017 рр. відбувалося у п'ятеро швидше, ніж у попередній період (1967–2008) (табл. 1).

Згідно з проаналізованими даними, максимальне розрахункове підняття абсолютних відміток рівня дзеркала розсолу становить +281...+288 м (табл. 1). Виположення кривої швидкості зростання абсолютних відміток підводить до припущення, що при збереженні сучасних темпів зростання абсолютних відміток дзеркала розсолу кар'єр не буде заповнений до критичної відмітки +298 м. Натомість відбуватиметься розвантаження водно-сольового тіла наповнення кар'єру в товщу галечникового

водоносного горизонту, заповнення карстових порожнин, розмивання бортів, зростання обсягу чаші кар'єру та розміру області дренажу ґрунтових вод алювіальних гравійно-піщаних відкладів р. Сівка та Лімниця.

Такі ж самі два періоди виділяються при аналізі темпів наповнення кар'єру (рис. 5). Аналіз експериментально-розрахункових даних ДП "Калійний завод", ДП "НДІ Галургія" та ІФНТУНГ дає підстави для апроксимації їхнім рівнянням

$$\lg V = V_0 + V_1 \cdot (1 - e^{-k_V t}). \quad (3)$$

Фізичний сенс параметрів цього рівняння такий самий, як і у формулі (2). Об'єм розсолів позначено літерою V , k_V – константа швидкості наповнення кар'єру розсолами, розмірність якої рік^{-1} .

Величина k_V протягом 2008–2017 рр. удвічі вища, ніж у період 1967–2008 рр. відповідно, зросли темпи наповнення кар'єру (табл. 2).

Розрахункові максимальні об'єми наповнення у різні періоди, розраховані за формулою

$$V_{\max} = 10^{V_0 + V_1} \quad (4)$$

становлять 11,9–33,1 млн м^3 .

Збільшення водоприпливів до кар'єру є ознакою подальшої активізації карстово-суфозійного процесу. Головними чинниками збільшення припливу виступають:

(латеральна зона потоку ґрунтових вод) параметрів галечникового (надсолітового) водоносного горизонту.

З аналізу наведених даних можна зробити висновок щодо збільшення зони дренажного впливу прибортової частини кар'єру, що підтверджується осушенням КДТ (відбив рівня підземних вод від ложа), розвитком карстоутворення по периферії кар'єру (до 250–350 м і більше), аномальним збільшенням глинисто-пилових фракцій у стічних водах кар'єру, що особливо характерно в період після повені 2008 р., з одночасним **зростанням водопритливів**.

Розширення території прояву карстово-суфозійного процесу істотно зменшило геотехнічну стійкість покровних порід у підґрунті гідротехнічних споруд (дамб, бортів КДТ та ін.), **що може призвести до розвитку надзвичайної ситуації** (НС):

1) прориву рідких стоків хвостосховища № 1 до кар'єру;
2) аварійного прориву стоку р. Сівка до кар'єру з його наступним прискореним затопленням;

3) формування техногенного стоку високомінералізованих вод у басейни річок Сівка–Лімниця–Дністер у геофільтраційній системі піщано-гравійно-галькових відкладів і карстових утворень надсолітового дзеркала.

Висновки. Таким чином, утворення соляних розсолів у Домбровському кар'єрі – це переважно результат водно-балансової та фізико-хімічної взаємодії атмосферних опадів із соленосними породами. Накопичення соляних розсолів залежить від кількості опадів, обсягів розвантаження ґрунтового водоносного горизонту, площі водозбору та тривалості контакту рідкої (водної) й твердої (солітової) фаз.

Кільцева дренажна траншея, побудована вздовж борту Домбровського кар'єру, суттєво зменшила свою гідрозахисну здатність і збільшила гідравлічні градієнти підземного потоку з поступовим зростанням суфозійного винесення глинисто-пилових фракцій та активізацією локального і лінійного карстоутворення.

Динамічному розвитку карстово-суфозійного процесу сприяли:

- значна площа відслонення піщано-гравійно-галькового горизонту по периметру кар'єру;
- збільшення проникнення водонасичених порід унаслідок винесення дрібнозернистих фракцій з одночасним розущільненням над зонами карстоутворення.

Розширення території прояву карстово-суфозійного процесу істотно зменшує геотехнічну стійкість покровних порід у підґрунті гідротехнічних споруд, що може призвести до надзвичайної ситуації в регіоні.

Високий ризик розвитку НС підтверджується руйнуванням північної ділянки КДТ унаслідок прояву зсувних

деформацій на укосах бортів кар'єру та їхнього наближення до долини р. Сівка, яка успадковує ослаблену зону породного масиву (швидкість більше 50 м/рік за даними геофізичних і натурних спостережень). Розвиток карстово-суфозійного процесу в західному напрямку до незаповнених високомінералізованими розчинами камер Хотинського рудника визначає небезпеку винесення значних обсягів солі у р. Дністер та виникнення надзвичайної ситуації транскордонного характеру.

Гідрогеологічна та геохімічна ситуація на території Калуш-Голинського родовища свідчить про необхідність збільшення комплексності (гідрологічні, гідрогеохімічні, геофізичні, дистанційні та ін. спостереження) екологічного моніторингу природно-техногенної геосистеми "техногенний комплекс кар'єру – навколишнє середовище" для своєчасного виявлення та запобігання розвитку надзвичайної ситуації.

Список використаних джерел

Бондаренко, С.С., Куликов, Г.В., Лубенский, Л.А. (1988). Геолого-экономическая оценка месторождений подземных промышленных вод. Москва : Недра.

Долін, В.В., Яковлев, Є.О., Кузьменко, Е.Д., Бараненко, Б.Т. (2010). Прогнозування екогідрогеохімічної ситуації при затопленні Домбровського кар'єру калійних руд. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсо-користування*, 1, 74–87.

Кореневский, С. М., Донченко, К. Б. (1963). Геология и условия формирования калийных месторождений Советского Предкарпатья. *Труды ВСЕГЕИ. Геология месторождений калийных солей*, 99, 152.

Семчук, Я.М., Малишевська, О.С. (2002). Дослідження процесів розчинення та вилуговування соляних порід для оцінки наслідків затоплення калійних шахт. *Хімічна промисловість України*, 1, 9–12.

Шуровський, О.Д., Анікеєв, С.Г., Шамотко, В.І., Дешиця, С.А., Ніколаєнко, О.А., Поплюйко, А.Г. (2012). Геофізичний моніторинг екобезпеки геологічних процесів в агломерації м. Калуша. *Мінеральні ресурси України*, 2, 31–39.

References

Bondarenko, S.S., Kulikov, G.V., Lubensky, L.A. (1998). Geological and economical assessment of underground industrial water deposits. Moscow : Nedra. [in Russian]

Dolin, V.V., Yakovlev, E.O., Kuzmenko, E.D., Baranenko, B.T. (2010). Prediction of the ecohydrogeochemical situation in the flooding of the Dombrovskiy quarry potashmine. *Environmental safety and balanced resource use*, 1, 74–87. [in Ukrainian]

Korenevskiy, S.M., Donchenko, K.B. (1963). Geology and conditions of potassium deposits formation of the Sovetskoe Predkarpatya. *Geology of potassium salt deposits. Proceedings of VSEGEI*, 99, 152. [in Russian]

Semchuk, Ya.M., Malishevskaya, O.S. (2002). Preparation of salt pores for the detection of potassium mines flooding. *Ukrainian Chemical Industry*, 1, 9–12. [in Ukrainian]

Shurovsky, O.D., Anikeev, S.G., Shamotko, V.I., Deshitsu, S.A., Nikolaenko, O.A., Poplyuyko, A.G. (2012). Geophysical monitoring of ecohazardous geological processes in the agglomeration of Kalush. *Mineral resources of Ukraine*, 2, 31–39. [in Ukrainian]

Надійшла до редколегії 29.07.2020

Y. Malkova, PhD Student,
ORCID ID 0000-0002-6215-9901,
E-mail: malkovayanakiev@gmail.com;
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology,
90 Vasylkivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine;
Y. Yakovlev, Dr. Sci. (Tech.),
ORCID ID 0000-0001-6562-4015,
E-mail: yakovlev1939@mail.ua;
V. Dolin, Dr. Sci. (Geol.), Prof.,
ORCID ID 0000-0001-6174-2962,
E-mail: vdolin@ukr.net;
State Institution "Institute of Environmental Geochemistry of NAS of Ukraine",
34, a, Palladina Ave., Kyiv, 03680, Ukraine

ECOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL REGULARITIES OF SALT BRINES FORMATIONS OF DOMBROVSKY QUARRY

The Dombrovsky quarry, which has been in operation since 1967, is the only one in the world where potash ore has been mined by open-pit method. The article considers the body formation mechanism of water-salt brines in the Dombrovsky quarry and gives a brief overview of the problems due to long-term development of the Kalush-Golynsky potassium salts deposit and waste accumulation in the area of hydraulic geofiltration. Such problems include flooding of the Dombrovsky salt quarry, erosion of salt dumps by precipitation, tailings overflows, pollution of the Quaternary supersalt aquifer and significant water quality deterioration danger in urban water intake, development of salt karst and subsidence of the earth's surface, destruction of engineering structures, residential buildings, etc. Analytical data of water inflows dynamics into the quarry and the increase of the drainage area of the

quarry riparian part was analyzed, accompanied by drainage of the circular drainage trench – separation of groundwater level from the bed, the karst formation development on the periphery of the quarry (up to 250–350 m and more), anomalous increase in clay-dust fractions in the quarry wastewater after the flooding 2008 with a simultaneous increase in water inflows. According to the research, we can make a conclusion about the unloading of liquid body filling the quarry in the thickness of the pebble supersalt aquifer, filling karst cavities, erosion of the quarry, increasing the volume of the quarry bowl and the size of the groundwater drainage area of alluvial gravel-sand deposits of Sivka and Lymnutsya.

Based on the obtained results, a conclusion was made regarding the threat of the emergency situation development and the deterioration of life safety in areas with disturbed ecological parameters of the geological environment. There is a need for artificial adjustment of the environmental forecast ecological parameters according to monitoring observations.

Keywords: deposit, salt brines, karst-suffusion process, emergency situation, water inflow.

Я. Малькова, асп.,
ORCID iD 0000-0002-6215-9901,
E-mail: malkovayanakiev@gmail.com;
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина;
Е. Яковлев, д-р техн. наук,
ORCID iD 0000-0001-6562-4015,
E-mail: yakovlev1939@mail.ua;
В. Долин, д-р геол. наук., проф.,
ORCID iD 0000-0001-6174-2962,
E-mail: vdolin@ukr.net;
ГУ "Институт геохимии окружающей среды НАН Украины",
Пр. Акад. Палладина, 34, а, г. Киев, 03142, Украина

ЭКОЛОГО-ТЕХНОГЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ РАССОЛА ДОМБРОВСКОГО КАРЬЕРА

Домбровский карьер, который эксплуатировался с 1967 г., единственный в мире, где открытым способом добывалась калийная руда. Рассматривается механизм формирования тела водно-солевых рассолов в Домбровском карьере и приведен краткий обзор проблем, возникших вследствие длительной разработки Калуш-Голынского месторождения калийных солей и накопления отходов в зоне гидравлически-геофильтрационного влияния производства. К таким проблемам относятся: затопление Домбровского соляного карьера, размыв солесодержащих отвалов атмосферными осадками, переполнение хвостохранилищ, загрязнение вод четвертичного надсолевого водоносного горизонта и опасность существенного ухудшения качества воды в городском водозаборе, развитие соляного карста и проседание земной поверхности над выработанным пространством шахт с деформацией или разрушением инженерных сооружений, жилых зданий и т. п. Проанализированы аналитические данные по динамике водопритоков в карьер и увеличения зоны дренирующего влияния прибортовой части карьера, что сопровождается осушением кольцевой дренажной траншеи – отрыв уровня подземных вод от ложа, развитием карстообразования по периферии карьера (до 250–350 м и более), аномальным увеличением глинисто-пылевых фракций в сточных водах карьера после наводнения 2008 г. с одновременным ростом водопритоков. Согласно исследованиям можно сделать выводы по разгрузке жидкого тела наполнения карьера в толщу галечников надсолевого водоносного горизонта, заполнение карстовых полостей, размывание бортов, рост объема чаши карьера и размера области дренирования грунтовых вод аллювиальных гравийно-песчаных отложений террас р. Сивка и Лимница.

На основе полученных результатов сделан вывод об угрозе развития чрезвычайной ситуации и ухудшения безопасности жизнедеятельности на территориях с нарушенными экологическими параметрами геологической среды. Существует необходимость искусственной корректировки прогнозных экологических параметров окружающей среды по данным мониторинговых наблюдений.

Ключевые слова: месторождение, соляные рассолы, карстово-суффозионный процесс, чрезвычайная ситуация, водоприток.