DOI <https://doi.org/10.32782/geotech2022.35.09>

УДК 556.3:504.61:622.016

Хевпа З.З., Долін В.В., Яковлев Є.О., Кузьменко Е.Д., Багрій С.М.

Хевпа З.З., кандидат геологічних наук, старший науковий співробітник, Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України, ORCID 0000-0002-6759-9850, e-mail: zenonzxv@gmail.com

Долін В.В., доктор геологічних наук, професор, заступник директора, Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України», ORCID 0000-0001-6174-2962, vdolin@ukr.net

Яковлев Є.О., доктор технічних наук, головний науковий співробітник, Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, ORCID 0000-0001-6934-618x, yakovlevhydro@gmail.com

Кузьменко Е.Д., доктор геолого-мінералогічних наук, професор, завідувач кафедри геотехногенної безпеки та геоінформатики, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, ORCID 0000-0002-1994-0970, gbg@nung.edu.ua

Багрій С.М., кандидат геологічних наук, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, ORCID 0000-0003-1190-6222, gbg2020@ukr.net

РОЗВИТОК НАДЗВИЧАЙНОЇ ВОДНО-ЕКОЛОГІЧНОЇ СИТУАЦІЇ ЗАТОПЛЕННЯ РУДНИКА № 2 СТЕБНИЦЬКОГО КАЛІЙНОГО РОДОВИЩА ВНАСЛІДОК ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННИХ ЧИННИКІВ

Анотація. Водно-екологічні проблеми зумовлено системним надходженням у шахту Рудника № 2 Стебницького калійного родовища природним шляхом ненасичених дренажних вод і низькомінералізованих розсолів. Заповнення гірничих виробок ненасиченими розсолами викликало ризик втрати стійкості міжкамерних ціликів і стелін у відроблених камерах, розуцільнення порід, активізації карстопровальних процесів. Проаналізовано розвиток надзвичайної екологічної ситуації у хронологічному аспекті. Для розв'язання поставлених завдань використано гідрогеологічні, гідрохімічні, сейсмічні та геофізичні дані моніторингу, візуального і інструментального спостереження за деформацією земної поверхні. Вивчено динаміку затоплення рудника № 2. У гірничому масиві рудника № 2 Стебницького калійного родовища було зафіксовано розуцільнення гірських порід повздовж пласта 10 у Пд-Сх напрямку до відробленої камери 115, установлено зони інфільтраційного живлення, транспортування та розвантаження підземних вод. Наявність інтенсивної фільтрації поверхневих вод у масиві гірських порід свідчить про процес карстоутворення, що підтверджено надходженням пластових вод у гірничі виробки та розуцільненням міжкамерних ціликів. Зона розуцільнення простягається в бік рудника, де розвиток карсту максимальний. Руйнування міжкамерних ціликів і стелін зумовило значне підвищення рівня розсолів у камерах II горизонту наприкінці 2014 р. Розрахований об'єм порушених ціликів складає ~473540 м³. Установлено зв'язок між тривалим (1978–2013) неконтрольованим зростанням надходження ненасичених дренажних вод до гірничого простору та формуванням карстових провалів у подальшому над відпрацьованими камерами першого горизонту, де в жовтні 1978 р. стався прорив надсолевих маломінералізованих агресивних вод.

Ключові слова: рудник, гірська порода, гірничі виробки, горизонт, мінералізація, калійні солі, розсоли, розуцільнення міжкамерних ціликів, карстовий провал.

Вступ. Стебницьке родовище калійних солей знаходиться в передгір'ї Карпат поблизу м. Стебник Дрогобицького району Львівської області, у 9,0 км на північний схід від м. Дрогобич. Площа родовища становить близько 40 км². Родовище калійних солей було виявлено у 1854 році, експлуатується з 1922 року й умовно поділяється на чотири ділянки: Північно-Західну, Центральну, Південну і Південно-Східну. Північно-Західна ділянка розробляли рудником № 2, який 1988 р. законсервовано. У структурно-геологічному, гідрогеологічному та гірничо-геологічному відношенні Стебницьке родовище є складним через значну мінливість розподілу та складу покривних і соленосних порід. У зв'язку з розуцільненням та пластифікацією солепородного масиву в процесі гірничодобувних робіт (з використанням

буропідричних технологій) відбувається активізація фільтраційного руху низько мінералізованих надсолевих вод водоносних горизонтів гіпсо-глинистої шапки (ГГШ) і четвертинних відкладів, які є агресивними до соленосних порід. Прояви їх на горизонтах рудників несуть загрозу для безпечної відробки родовища та призводять до формування депресійних лійок і активізації карсту [1, 8, 12].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Гео-екологічні, гідрохімічні, гідрогеоекологічні аспекти формування водних товщ карстового озера на місці провалу № 27 над рудником № 2 Стебницького гірничо-хімічного підприємства «Полімінерал» (за результатами матеріально-балансового моделювання та моніторингових спостережень) розглянуто у публікаціях В.О. Дяківа, З.З. Хевпи, А.В. Драновської [4–6].

Техногенні порушення геологічного середовища у районах розробки калійних родовищ обговорено у роботі Я.М. Семчука [12]. У праці С.М. Кореневського [8] розглянуто питання геологічної будови та умов формування калійних родовищ Передкарпаття. Особливості гідрогеологічних умов Стебницького родовища проаналізовано А.А. Варламовим зі співавторами [1].

Мета дослідження. Метою роботи було вивчення водно-екологічної ситуації затопленого рудника № 2, яка залежить від неконтрольованих водопритоків ненасичених дренажних вод у гірничі виробки рудника, та оцінення стану гірничого масиву затопленого рудника № 2 Стебницького калійного родовища.

Об'єкти та методи. Предметом дослідження був гірничо-геологічний комплекс Рудника № 2 Стебницького родовища калійних солей. Протягом тривалого часу в шахту Рудника № 2 відбувається переважно гідрогеофільтраційне надходження дренажних розсолів, які насичуються розчинними солями в процесі розчинення й інфільтрації через гіпсо-глинисту шляпу. Під час контактування прісних вод (недонасичених розчинів) з корінними соленосними породами постійно відбувається процес розчинення солей, розущільнення товщі покривних порід зі збільшенням їх проникності та зменшенням геомеханічної міцності і подальшим утворенням карстових порожнин. Методи дослідження базувались на використанні результатів моніторингу техногенно-геологічної системи (ТГС) Рудника № 2, польових інструментальних, гідрогеологічних, геохімічних і геофізичних спостереженнях.

Виклад основного матеріалу дослідження. У геологічній будові родовища беруть участь породи нижньо- і верхньоворотисненської світи, а також нижньої частини стебницької світи нижнього неогену.

Нижньоворотисненська світа (N_1Vr_1), розкрита підземними гірничими виробками і свердловинами в ядрах антиклінальних структур, найбільш повно у південній частині родовища. Розріз світи має чіткий теригенний характер: перешарування брекчіюваних, незначно засолених глин, глинистих брекчій, алевролітів і пісковиків. Потужність світи досягає 150–200 м.

Верхньоворотисненська світа (N_1Vr_2) найбільше розвинута на території родовища. Складена вона в основному соленосними брекчіями різного складу (глинистими, піщано-глинистими) з прошарками і лінзами аргілітів, пісковиків, кам'яної солі та калійних солей. У її складі знаходяться всі відомі калійні поклади, що об'єднуються в один калійний горизонт, розташований на 25–30 м вище від контакту нижньо- і верхньоворотисненської світи. Видима потужність пластів калійних солей коливається від 2–60 до 60–100 м. Потужність верхньоворотисненської світи становить 350–450 м.

У північній частині родовища відклади верхньоворотисненської світи по лінії регіонального насування контактують із породами стебницької світи (N_1Sb), складеної строкатими глинами, алевролітами і пісковиками.

Характерним для родовища є те, що соленосні відклади нижньо- і верхньоворотисненських світ на всій

території їх виходів перекриті товщею порід, змінених у зоні гіпергенезу (наявність характерних відкладів так званої гіпсово-глинистої шапки). Склад порід ГГШ різноманітний, переважно це різною мірою загіпсовані глини, супіски і піски (загіпсованість і засолоненість, а також розчинність порід нарастають із глибиною) з уламками аргілітів, пісковиків; над калійними пластами в глинах відмічено значний вміст вторинних калійних мінералів – глазериту, мірабіліту та гіпсу; над теригенними відкладами нижньоворотисненської світи в розрізі ГГШ збільшується кількість прошарків і лінз пісків. Потужність ГГШ коливається в широких межах: від 15–20 до 90–170 м, складаючи в середньому 60–100 м. Рельєф поверхні соляного «дзеркала» (контакту ГГШ і «корінних» порід) дуже складний і залежить від багатьох умов, найчастіше від складу корінних порід: найвищі відмітки соляного «дзеркала» властиві здебільшого ділянкам виходів калійних пластів, найнижчі – виходам теригенних порід.

Стебницьке родовище калійних солей знаходиться на дільниці Бориславо-Покутського покриву Передкарпатського передового прогину, тобто безпосередньо в зоні зчленування останнього з системою Карпат. Це зумовлює значну складність його тектонічної будови. Товщина соленосних відкладів нижнього неогену, простягаючись уздовж Карпат в північно-західному напрямку, зім'ята тут у комплекс синклінальних і антиклінальних складок. Найбільшими з них є Модрич-Уличнянська і Трускавецька антиклінали. На північно-східному крилі першої структури розташована основна частина родовища, ускладнена низкою вузьких ізоклінальних складок, визначених, як правило, по обрисах калійних пластів.

Замки синклінальних складок по калійних покладах встановлені на глибині від 160–380 м (пласти 6, 9, 7) до 1000 м і більше. Здебільшого складки перевернуті на південний захід (в сторону Карпат). Кути падіння порід коливаються в межах від 15–25 до 90°, в середньому 60–70°. У розрізах калійних пластів, особливо на дільницях замків структур, значно поширені складки високих порядків (складки так званої сольової тектоніки, тобто складки текучості, волочиння тощо), дуже ускладнюючі загальну структуру і призводячи до збільшення видимої потужності пластів і зменшення їхньої геомеханічної стійкості у гірничодобувному просторі.

В умовах формування полів геомеханічної напруженості солепородного масиву на території родовища поширені розривні порушення типу насувів і скидів. Простягання насувних структур співпадає з простяганням складок у північно-західному напрямку, а скидозуви перетинають їх, простягаючись з південного заходу на північний схід. Варто відмітити складність картування розривних порушень в умовах загального брекчіювання порід.

Основну роль у мінералогічному складі калійних солей Стебницького родовища відіграють сульфатні калійні мінерали (лангбейніт, каїніт, кізерит) та їх вторинні утворення (шеніт, епсоміт); підпорядковані

хлоридні мінерали (сильвін, карналіт). Це зумовлює унікальність родовища на фоні загальної потреби сільськогосподарства в сульфатних калійних добривах.

Складні гідрогеологічні особливості Стебницького родовища зумовлені двочленною будовою розрізу: соленосні відклади на родовищі скрізь перекриті товщею порід, утворених унаслідок змін у зоні гіпергенезу (товща ГГШ). Багаторічний досвід відробки родовища свідчить, що суцільного поширення проникних порід та водоносного горизонту в соленосних відкладах верхньоворотинської і загорської світ немає. В гірничих виробках рудників на всіх горизонтах зареєстровано понад 40 пунктів капежу високомінералізованих розсолів хлор-магнієвого, хлоркальцієвого типів, які належать до класу седиментаційних вод. Деякі з них діють багато років (найчастіше проявляються протягом малого відрізка часу) і загрози для нормальної експлуатації рудників не становлять.

Загроза наростає на верхніх горизонтах рудників, коли в деяких випадках вони можуть бути гідравлічно зв'язаними з розсолоним водоносним горизонтом, сформованим у товщі порід ГГШ (в основному на соляному «дзеркалі»), який в свою чергу зв'язаний з водоносним горизонтом четвертинних відкладів. Джерелом живлення їх є атмосферні опади. Через низьку мінералізацію надсолевих вод водоносних горизонтів ГГШ і четвертинних відкладів є агресивними до соленосних порід. Прояви їх на горизонтах рудників несуть значну загрозу для безпечної відробки родовища. Захист від них на родовищі здійснюється шляхом залишення водозахисного цілика потужністю 60 м. Однак досвід показує, що у найбвразливіших зонах розривних порушень, у замках антиклінальних структур, на ділянках виклинювання рудних тіл, на контактах теригенних і соленосних відкладів, можливо проникнення агресивних надсолевих вод у гірничі виробки нижче підшви водозахисного цілика. Здебільшого небезпечні витіки проявлялись у рудниках у минулі роки за умови безпосереднього входу гірничих виробок у товщу ГГШ або незабезпечення потужності водозахисного цілика.

Найзагрозливіше становище склалося на руднику № 2, де сумарний приплив розсолів за роки існування течі постійно зростає від 200 до 1500 м³/добу (в 2014 р.). Нині підземні порожнини рудника № 2 заповнені. Відповідно до замірів у стволі «Головний», рівень розсолів у шахті піднявся до абсолютної відмітки +319,70 м (15,30 м від поверхні).

Значне збільшення водопритоку в гірничі виробки рудника № 2 відбулося в жовтні 2014 р. За результатами авторських вимірювань рівня розсолів, до камер II горизонту за цей місяць надійшло 405 000 м³ розсолів (~13 500 м³/добу).

Водночас в ході обстеження гірничих виробок вентиляційного і дренажного горизонтів нових місць водопритоків і значного збільшення дебіту наявних потоків не виявлено, за винятком нового місця витіку розсолів. Дебіт потоку становив 50–80 м³/добу з мінералізацією 400–420 г/дм³.

У листопаді 2014 р. притік розсолів в камери II горизонту зменшився до 223 480 м³ (~8280 м³/добу), а через тиждень – до 400 м³/добу.

У результаті обстеження гірничих виробок дренажного, вентиляційного і I горизонтів наприкінці 2014 – початку 2015 рр. було виявлено початкове руйнування міжкамерних ціликів, а також руйнування стеліни між I і II горизонтами.

Очевидно, що факт руйнування міжкамерних ціликів і стеліни визвав значне підвищення рівня розсолів у камерах II горизонту в жовтні (~3 м) і листопаді (~2,5 м) 2014 р. За підрахунком об'єм солепородної маси зруйнованих ціликів становить ~ 473,5 тис. м³.

3 березня 2015 р. унаслідок аварійного стану гірничих виробок спостереження за заповненням і хімічним складом розсолів, які надходять у шахту, виконують з поверхні через ствол «Головний» і «Західний-біс».

У жовтні 2015 р. приплив розсолів у руднику збільшився до 166,4 тис. м³, а до кінця року зменшився до 40000 м³ при середньомісячному надходженні розсолів 30–35 тис. м³. З цього можна зробити висновок, що в руднику продовжується руйнування міжкамерних ціликів і стеліни, загальний обсяг яких у 2015 р. становив близько 205,6 тис. м³.

Результати замірів рівня заповнення гірничих виробок у 2016 р. (з січня до листопада) також показали можливість руйнування міжкамерних ціликів і стеліни. Зокрема з квітня до червня і у вересні приплив розсолів в рудник збільшився до 122–431 тис. м³. Загальний об'єм зруйнованих ціликів становить близько 733 тис. м³.

Загалом з 1978 р. на цій ділянці в гірничі виробки рудника № 2 надійшло понад 14 млн м³ розсолів і утворилося біля 2000 тис. м³ карстових порожнин у соленосному масиві (розрахунково, за обсягом винесення солей). Унаслідок витіку надсолевих вод в рудник № 2 в гідрогеофільтраційному полі горизонту ГГШ тут сформувалась депресійна лійка, що простяглася від Трускавецького лісового масиву на південному сході до заплави р. Вишниця на північному заході і досягла площі 2,4 км² (3210 × 760 м), максимально розширюючись у центральній частині витіку в західному напрямку до заплави р. Вишниця. На цій території значно активізовані суфозійно-карстові процеси в соленосному масиві та породах ГГШ. Це призвело до значного просідання земної поверхні на дільниці витіку (сумарно на площі до 55 000 м²) та розвитку карстових провалів. Найбільші з них у 1993–2004 рр. проявились на північно-західній границі ділянки витіку (провали 14,14^а) навіть за 1000 м від неї, безпосередньо в заплаві р. Вишниця, за 20–30 м від її русла (провали 18, 20, 22, 25). Початкова площа провалів 15 × 16, 22 × 28, 30 × 40, 25 × 30, глибина 10–13 м. Наявні карстові провали було ліквідовано, засипано щільними глинами, крім провалу № 25. У липні 2006 року провал № 20 просів і його розміри на кінець 2009 р. досягли 47 × 62 м, глибина – до 15 м. У грудні 2009 р. провал було засипано, а в районі зони просідань споруджено водовідвідний канал, яким відведено русло р. Вишниця за межі зони

просідань. 2010 року у результаті спостережень виявлено просідання насипного ґрунту, тому наприкінці року виконано роботи з дозасипки і станом на жовтень 2011 р. ситуація стабілізувалась. Улітку 2012 р. здійснено дозасипку щільним ґрунтом і планування поверхні заплави р. Вишняця.

Динаміка рівнів заповнення підземних виробок свідчить, що розущільнення міжкамерних ціликів (МКЦ) і стеліни продовжувалася протягом 2017 р., об'єм його (з січня до листопада) становив 422,7 тис. м³. Найбільший об'єм руйнування МКЦ визначено у вересні (~135 тис. м³). Це призвело до утворення (30.09.2017) карстового провалу на поверхні (№ 27), розміром 200 × 210 м і глибиною ~40 м, який знаходиться над відробленими підземними камерами 109–115 пласта 10 Пд-Сх, де в грудні 2014 р. було виявлено руйнування МКЦ і стеліни між I і II горизонтами. Розрахунковий об'єм провалу становить ~700 тис. м³. Наприкінці жовтня 2017 р. у руслі водовідвідної каналі, спорудженої в 2010 р. для відводу потоку р. Вишняця від карстових провалів № 25, 18, утворилася карстова лійка № 28 (розміром ~1,5 × 1 м, глибиною ~2 м), в яку надходив весь потік річки. Її засипали щільними глинами і проклали трубу, якою води р. Вишняця спрямовано в русло.

Ключом для розкриття закономірностей розвитку соляного карсту є визначення елементів гідродинамічної системи: зони живлення, транзиту й розвантаження води і розсолів. У зоні живлення сіль інтенсивно розчиняється прісною водою. У зоні транзиту відбуваються донасищення розсолу, розчинення і підземна ерозія. У зоні розвантаження утворюються ніші вилуговування, підрізуються опорні цілики та стінки природних карстових порожнин, перерозподіляються геомеханічні напруження і геодинамічні зрушення, зокрема внаслідок дії архімедової сили.

Процес самочинного затоплення пустот рудника № 2 виглядає таким чином (рис. 1): із зони живлення, це територія частини села Модричі (80 %), Трускавецького лісового масиву (15 %) та ствола Східний (5 %), надходять підземні потоки води з подальшим фізичним та хімічним розчиненням соленосних порід (насищенням) у напрямку рудника № 2. Тому можна впевнено констатувати, що вищезгадані зони між собою взаємопов'язані, і на площі цих зон у зв'язку із винесенням солей утворюються природні підземні карсти. За підрахунками, виконаними на основі обсягу винесення солей, пустоти становлять близько 2,0 млн м³, відповідно спостерігається просідання земної поверхні та утворення протягом 2000–2017 рр. низки карстових провалів у напрямку с. Модричі. Згодом ці ненасичені розсоли самочинно транспортуються повздовж пласта 10 у Пд-Сх напрямку до відробленої камери 115 рудника № 2, де їх первинно було виявлено у 1978 р. та зафіксовано гідрогеологічною службою підприємства «Полімінерал» з дебітом 1000 м³ на добу. Ці недонасичені розсоли спричиняють розчинення та руйнацію міжкамерних ціликів, що призводить до інтенсивного карстоутворення. 15 березня 2020 р. утворився карстовий провал № 30 розміром 110 × 100 м і глибиною до 50 м з дуже крутими, майже вертикальними бортами, які постійно обвалювались. У зв'язку із заповненням розсолами рудника № 2 практично на 97 % від об'єму усіх відроблених пустот і до абсолютної відмітки +215 м рівень води у шахті піднявся до рівня зони розвантаження, де утворилися великі підземні природні карстові порожнини. Мірою підняття розсолів до соляного дзеркала (контакт гіпсово-глинистої шапки з корінними соленосними породами, абсолютна відмітка +235–270 м), цей процес підняття рівня розсолів і заповнення зон розвантаження, транспортування та живлення (рис. 1), супроводжується просіданням земної поверхні.

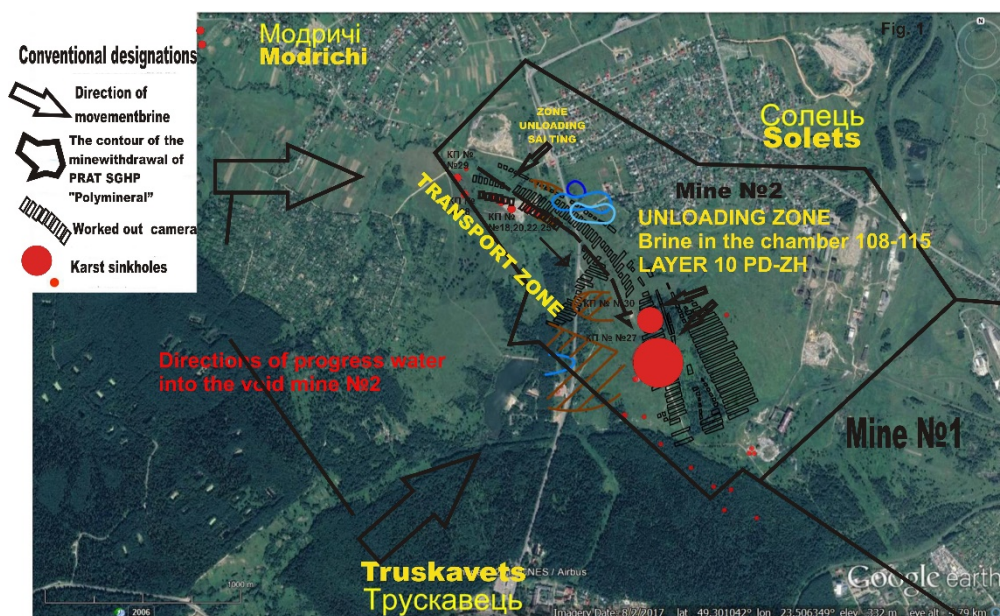


Fig. 1. The direction of water movement in the mine № 2

Можливості перехоплення розсолів на верхніх горизонтах і контрольованої відкачки їх практично вичерпані. В умовах постійного недофінансування робіт у період 1990–2013 рр. і зупинки рудника № 2 з 1988 р., його гірничі виробки, насосне обладнання та водотранспортна мережа амортизовані, фізично зношені і не могли забезпечити водовідлив у необхідному об'ємі. Так, уже 2000 р. за різкого збільшення водопритоків до 1100 м³/добу та виходу з ладу насосного обладнання на виробки IV горизонту рудника було допущено неконтрольований перепуск біля 4000 м³ розсолів. Ситуація ускладнилась 2001 р. через систематичні відключення електроенергії, що призвело до скиду на нижні горизонти близько 5000 м³ розсолів і, зрештою, до аварійного затоплення центральних стволів рудника (15.12.2001). До грудня 2002 р. під час аварійних ситуацій на виробки IV горизонту було «скинуто» 80,4 тис. м³ розсолів і, таким чином, затоплено їх на рівень днищ видобувних камер III–IV горизонтів.

З грудня 2002 р. було розпочато організований перепуск на виробки II–IV горизонтів розсолів з дренажного – I горизонту рудника № 2 і з рудника № 1. На грудень 2018 р. у виробки IV–I горизонту перепущено майже 13 млн м³ розсолів з мінералізацією 280–360 г/л, зокрема 2,1 млн м³ з хвостосховища, що спричинило затоплення гірничих виробок до відмітки +202 м (з темпом середнього підйому затоплення до 1,3 м на місяць).

Витік надсолевих вод у ствол «Східний» рудника № 2 відбувався з часу проходки ствола в 1962 р. на глибині 102–123 м. Численні спроби ліквідації витіку (методами тампонажу затюбінгового простору, бітумізації, тампонажу закарстованого гірничого масиву навкруги ствола, встановлення металеві «обечайки» з тампонажем затрубного простору результату не дали. Витік розсолів у ствол в останні роки коливався в межах 5–35 м³/добу. Загалом з 1962 р. у ствол витекло понад 375 тис. м³ розсолів з мінералізацією 350–370 г/дм³ і в районі ствола утворилося більше 70 тис. м³ карстових порожнин.

Буровими роботами 1970–1985 рр. в районі ствола було оконтурено зону карстування, яка простяглась в північно-західному напрямку через ствол на 260–310 м. Максимальну ширину (до 40 м) вона має біля ствола, на флангах – 5–10 м. Глибина поширення зони сягає рівня витоків у ствол. Наявність і контури зони чітко підтверджені геофізичними роботами 1999 року [9, 10].

Обстановка в районі ствола раптово погіршилась наприкінці 1998 р., коли езпосередньо біля опори копра ствола утворився карстовий провал діаметром 20 м і глибиною до 12 м. У першому півріччі 1999 р. карстовий провал ліквідовано. Засипано 2742 м³ породи з відвалу біля ствола. Враховуючи руйнування земної поверхні безпосередньо біля ствола, деформацію його копра, можливі деформації і руйнування колони ствола та неможливість його ремонту – прийнято рішення про виведення його з експлуатації.

Протягом 2008–2010 рр. в районі ліквідованого ствола «Східний» утворився карстовий провал площею 35 × 40 м (1400 м²) глибиною в середньому

3,5 м. Весною 2011 р. цей карстовий провал було ліквідовано шляхом засипки щільними глинами об'ємом 5400 м³.

У жовтні 2014 р. на насипному ґрунті біля ліквідованого ствола «Східний» утворились два карстові провали діаметром 6 м і глибиною 2,5 м на місці карстового провалу № 4, який було засипано 1980 р.

У першій половині 2003 р. ВАТ «Гірхімпром» розроблено «Комплексний проект консервації рудника № 2 та рекультивациі порушених земель». Унаслідок неналежного фінансування проект реалізовували не в повному обсязі, через що основні об'єкти з приготування і перекачки розсолів з хвостосховища на рудник № 2 уведено в експлуатацію зі значним відставанням, а приготування і подача розсолів у гірничі виробки розпочато лише в листопаді 2009 р., що спричинило самочинне затоплення гірничих виробок ненасиченими розчинами, агресивними до солепородного масиву, активізації небезпечних геологічних процесів і загострення водно-екологічних проблем.

Висновки. 1. Головними природними чинниками небезпечних геологічних процесів є розвиток карстових утворень унаслідок розчинення гірських порід, що контролюється тектонічними процесами, які порушують рівноважний стан геологічного середовища й зумовлюють зміни гідрогеологічних умов, рух підземних і поверхневих вод.

2. У процесі проектування та освоєння недостатньо мірою вивчено гідрогеологічні умови соляного родовища, що пов'язано з низькою детальністю карт стратоізогіпс покрівлі солей, унаслідок чого під час проходки гірничих виробок не виключено порушення зони соляного дзеркала (контакт гіпсово-глинистої шапки з корінними соленосними породами), або розроблення соляних пластів у зонах їх виклинювання, де залягають обводненні породи. Значні прориви розсолів у відроблені гірничі пустоти спричинено також виходом гірничих виробок або свердловин за межі соляного тіла, в зону вилугування на контакт з ГГШ або бічними породами, що сприяє розвитку карстоутворення.

3. Головним чинником загострення водно-екологічних проблем є системне надходження у відроблені гірничі пустоти ненасичених вод, агресивних до легкорозчинних соляних порід. Унаслідок заповнення підземними водами відроблених гірничих виробок відбувається розущільнення міжкамерних ціликів і стелини у шахті. Це спричинює просідання земної поверхні та утворення провалів діаметром понад 200 м.

4. Встановлено причинно-наслідковий зв'язок між тривалими (1978–2013) неконтрольованим зростанням надходження ненасичених дренажних вод до гірничого простору, та формуванням площинної зони осідання, яку приурочено до відпрацьованих камер першого горизонту, осідання склало 1300 мм.

5. Балансові гідрогеохімічні розрахунки та зіставлення їх результатів з об'ємними параметрами значних провалів земної поверхні засвідчили, що наявна кількість недонасичених розсолів здатна розчинити велику частину солепородного масиву, що веде до зменшення його геомеханічної стійкості та розущільнення. Ці чинники призвели до активізації осідання земної поверхні,

яке з часом набуло незворотного характеру та в планово-радіальному масштабі вийшло за межі гірничого відводу підприємства. У таких умовах карстопровальні процеси та деформація земної поверхні відбуваються неконтрольовано в стійкому причинно-наслідковому зв'язку.

6. Зонами інфільтраційного живлення горизонтів пухких покривних порід, води яких надходять у відроблені гірничі пустоти, є західна частини села Модричі (80 %), території Трускавецького лісового масиву (15 %) та ствола Східний (5 %). Зона транспортування насиченої солями води (розсолів) – це пласт 10 (напрямок основного потоку розсолів) і зона розвантаження – це відроблені камери цього пласта та природні карсти. Зазначені зони між собою взаємопов'язані, по їхній площі унаслідок фізичного (80 %) та хімічного (20 %) розчинення порід, утворюються природні підземні карстові порожнини об'ємом близько 2,0 млн м³.

7. Екологічна ситуація, яка склалась на шахтному полі рудника № 2 і на прилеглих територіях, є надзвичайно складною. За масштабами катастрофічних наслідків найзагрозливішим є соляний карст. Просторова інтерпретація даних зіставлення та накладання контурів відпрацьованих гірничих масивів на поля осідання земної поверхні засвідчила, що більшість профільних ліній проходить через камери. Для своєчасного виявлення карстових провалів необхідною системно проводити гідрогеологічний, гідрохімічний, сейсмічний та геофізичний моніторинг, візуальне і інструментальне спостереження за деформацією земної поверхні.

References

1. Varlamov, A.A., Kozlov, S.S., Lipnitsky, V.K., Khodkov, A.E. (1971), Hydrogeological conditions of the Stebnyk deposit of potassium salts, *Mat. in hydrogeology and geology the role of groundwater*, Leningrad: Izd-vo LGU, pp. 124-132.
2. Gaidin A.M., Dyakov V.O. (2010), Geodynamic processes in salt deposits, *Materials. International scientific-practical conference "Miners' Forum 2010"*. Dnepropetrovsk, pp. 23-41.

3. Dudko P.M. (1972), *Underground salt leaching*. Moscow: Nedra.

4. Dyakiv V.O., Hevpa Z.Z., Dranovska A.V. (2018), Failure on September 30 2017 over the mine № 2 Stebnyk Mining and Chemical Enterprise "Polymneral": causes, consequences and current state (according to the results of material balance modeling and monitoring observations), *Fifth International Scientific and Practical Conference "Subsoil Use Investment Prospects" Ukraine, Conference Proceedings*, Volume 1, Truskavets, pp. 103-116.

5. Dyakiv V.O., Hevpa Z.Z., Kovalchuk M.M. (2019), Geocological characteristics and hydrochemical composition of karst lake strata formed at the site of failure № 27 above mine № 2 Stebnyk Mining and Chemical Enterprise "Polymneral", *Sixth International Scientific and Practical Conference "Subsoil Use in Ukraine. Prospects for Investment" Ukraine Conference*, Volume 2, Truskavets, pp. 215-222.

6. Dyakiv V.O., Hevpa Z.Z., Dranovska A.V. (2021), The current state of the mine № 2 Stebnyk HCP "Polymneral" and its impact on the karstological situation (based on monitoring observations, experimental and material-balance modeling), *Seventh International Scientific and Practical Conference "Subsoil Use in Ukraine. Prospects for Investment Ukraine" Conference*, Volume 2, Lviv, pp. 169-181.

7. Zilberschmidt V.G., Zilberschmidt V.V., Kaimark O.B. (1992), *Destruction of salt rocks. M.: Nauka*, p. 144.

8. Korenevsky S.M., Donchenko K.B. (1963), Geology and conditions of formation of potassium deposits of the Soviet Precarpathians, *Geology of deposits of potassium salts: Tr. EVERYTHING. New ser. T. 99*. pp. 3-152.

9. Kuzmenko E.D., Shtogrin M.V., Lushchik O.V., Shvirlo M.I., Anikeev S.G., Vdovina O.P., Shtogrin L.V. (1999), Report on research work Ecology – geophysical research in the Western region of Ukraine to trace the development of natural and man-made karst and related processes, *IFDTUNG*. pp. 22-102.

10. Kuzmenko E.D., Bagriy S.M., Chepurny I.V., Shtogrin M.V. (2017), Estimation of the risk of near-surface deformations of rocks within the Stebnyk potassium deposit by the method of PIEMPZ, *Geodynamics*. № 1 (22), pp. 98-113.

11. Maksimovich G.A. (1963), *Fundamentals of karstology*, Perm. T. 1.

12. Semchuk Ya.M. (2001), Man-caused disturbance of the geological environment in the areas of development of potash deposits. *Coal of Ukraine*. № 9 (537), pp. 41-45.

DEVELOPMENT OF A WATER AND ECOLOGICAL EMERGENCY FROM MINE FLOODING OF STEBNYK POTASSIUM DEPOSIT OWING TO NATURAL AND TECHNOGENIC FACTORS

Z. Khevpa, V. Dolin, E. Yakovlev, E. Kuzmenko, S. Bagriy

Khevpa Z.Z., PhD (Geol.), Senior research fellow, State Institution "The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine", ORCID: 0000-0002-6759-9850, e-mail: zenonzxv@gmail.com

Dolin V.V., D. Sc. (Geol.), Prof., Research Director, State Institution "The Institute of Environmental Geochemistry of National Academy of Sciences of Ukraine", ORCID:0000-0001-6174-2962, vdolin@ukr.net

Yakovlev E.A., D. Sc. (Eng.), Chief Researcher, Institute of Telecommunications and Global Information Space of the National Academy of Sciences of Ukraine, ORCID.org/0000-0001-6934-618x, yakovlevhydro@gmail.com

Kuzmenko E.D., D. Sc. (Geol.), Prof., Head of the Sub-Faculty of Geotechnogenic Security and Geoinformatics, Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, ORCID: 0000-0002-1994-0970, gbg@nung.edu.ua

Bagriy S.M., PhD (Geol.), Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, ORCID: 0000-0003-1190-6222, gbg2020@ukr.net

Abstract. Water and environmental problems are caused by the systematic inflow of unsaturated drainage waters and low-mineralized brines into the mine No 2 of the Stebnyk potash deposit. Filling the mine workings with unsaturated brines caused the risk of losing the stability of the interchamber pillars and ceilings in the spent chambers, rock separation, intensification of karst-breaking processes. The paper analyzes the development of the ecological emergency in chronological terms. Hydrogeological, hydrochemical, seismic and geophysical data of monitoring, visual and instrumental observation of the deformation of the earth's surface were used to solve the set tasks. The dynamics of flooding of the mine № 2 was analyzed. In the mining massif of mine No 2, the decompaction of rocks along the formation 10 in the Northern-Eastern direction towards the spent chamber 115 was recorded, the infiltration supply zone, the transportation zone and the groundwater discharge zone were established. The presence of intensive filtration of surface waters in the massif of rocks indicates the process of karst formation, which is confirmed by the inflow of formation waters into the mine workings and the decomposition of interchamber pillars. The zone of decompaction extends towards the mine, where the development of karst is maximum. The destruction of the inter-chamber columns and the ceiling led to a significant increase in the level of brine in the chambers of the second horizon at the end of 2014. It is estimated that the volume of broken pillars is ~ 473,540 m³. The correlation between the long uncontrolled growth of increase in the amount of unsaturated drainage water in the mining area in 1978-2013 and the formation of karst dips over the spent chambers of the first horizon was found. There was a breakthrough of supersalt low-mineralized aggressive waters to this horizon in October 1978.

Key words: mine, mine workings, rock, horizon, mineral, mineralization, potassium salts, brines, disintegration of interchamber pillars, karst failure.