

ОЦІНКА ЗАКАРСТОВАНОСТІ ТА СТАНУ ГІРНИЧОГО МАСИВУ ЗАТОПЛЕНОГО РУДНИКА № 2 СТЕБНИЦЬКОГО ГХП “ПОЛІМІНЕРАЛ” ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ТА МАТЕРІАЛЬНО-БАЛАНСОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Василь Дяків¹, Зенон Хевпа²

¹Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005
e-mail: dyakivw@yahoo.com;

²Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища
Національної академії наук України,
пр. Академіка Палладіна, 34А, Київ, Україна, 02000
e-mail: zenonzxv@gmail.com

Проведено аналіз динаміки затоплення рудника № 2 Стебницького ГХП “Полімінерал”, відновлення рівнів підземних вод, спостережуваної мінливості хімічного складу у гірничих виробках, становлення природної гідрогеологічної стратифікації підземної гідросфери, розвитку карстологічної ситуації та подано оцінку його сучасного стану. Доведено, що після провалу який мав місце 15 березня 2020 року, відбулось прискорене затоплення гірничих виробок, підземних карстових пустот та соленосних відкладів до вересня 2020 року, із поступовим згасанням та припиненням техногенно-активізованого карсту по мірі затоплення надсолевих відкладів до серпня 2021 року та становлення рівноважного із соляними породами хімічного складу розсолів. Припинення карстового процесу доведене також на підставі результатів експериментального та матеріально-балансового моделювання.

Ключові слова: соляний карст, Стебницьке родовище калійних руд, гірничий масив, техногенна активізація, експериментальне та матеріально-балансове моделювання, оцінка, аналіз, прогноз.

Вступ. Стебницьке родовище полімінеральних калійних руд сульфатного типу є найбільшим серед розвіданих родовищ України. Калійні солі тут виявлено 1873 року (їхній видобуток розпочався у травні 1919 року) АТ “ТЕСП” (акціонерне товариство експлуатації солі поташової) спочатку рудником № 1 а з 1966 року – рудником № 2. Розробка відбувалась із понад 20 крутоспадних пластів, камерною системою на центральній ділянці рудником № 1 і на північно-західній ділянці – рудником № 2. Поклади розроблялися на 1, 2, 3 та 4 горизонтах, де ширина камер становила 15 м, а

ширина міжкамерних ціликів – 12 м, висота камер – від 40 до 60 м, довжина камер – від 20 до 150 м, потужність міжповерхової стеліни – 16 м, висота поверху – 60 м.

Складні гідрогеологічні умови родовища призвели до появи водопритоків у рудниках, які або вдавалось локалізувати, або вони призводили до формування депресійних лійок та активізації карсту. Рудник № 2 Стебницького гірничо-хімічного підприємства “Полімінерал” у 60–80-х роках минулого століття був найбільш потужною видобувною калійною копальною України з річним видобутком 3 млн тонн руди. Виробничі та екологічні проблеми підприємства почались ще 1978 р., коли у видобувні камери почала проникати вода з перекриваючих відкладів. До 2001 р. відбувалось перехоплення вод на дренажному горизонті та їх активна відкачка на денну поверхню. Однак унаслідок відключення енергопостачання спинились водовідливні насоси, вода переповнила водозбірні ємності, розмила соляні перемички і затопила глибокі горизонти рудника № 2. Виробки найглибшого 5 горизонту були затоплені. В січні 2001 р. урядова комісія з надзвичайних ситуацій прийняла рішення про “мокру” консервацію рудника № 2 за проектом Інституту гірничо-хімічної промисловості (ТзОВ “ГІРХІМПРОМ”).

Техногенно-змінене геологічне середовище соленосних відкладів рудника № 2 в умовах взаємодії з агресивними розсолами, з одного боку, демонструє складну динамічну систему, поведінку якої важко передбачити, а з іншого боку, такий об’єкт досліджень є своєрідною “чорною скринькою”, де відбуваються процеси, які залежать від вхідних умов та вихідних наслідків. Керуючись цим, знаючи вхідні умови – об’єм виробленого простору, динаміку водопритоків, їхню мінералізацію, агресивність до водорозчинних порід, а також вихідні наслідки – значення рівноважних концентрацій, об’єм утворених провалів тощо – процеси, що відбуваються в такій системі, можна моделювати методами експериментального та матеріально-балансового моделювань.

Експериментальне моделювання дає змогу наочно відтворити не тільки теоретично передбачені особливості поведінки об’єкта (перший аспект), а й запропонувати ймовірні шляхи вирішення конкретних науково-технічних завдань (другий аспект), де моделювання є інструментом дослідження. Основна вимога до методів моделювання полягає в найбільш об’єктивному визначенні критеріїв подібності. Тобто подібності вихідних умов, за яких модель можна вважати такою, що вона закономірно відображає у певному наближенні оригінал.

Під матеріально-балансовим моделюванням розуміють різновид математичного моделювання, який ґрунтується на ітераційному дослідженні досягнення нерівноважною системою стійкої у часі фізико-хімічної рівноваги з урахуванням кількісних параметрів матеріального балансу, насамперед усунення так званого “дефіциту насичення” агресивних розсолів унаслідок їх донасичення під час розчинення мінералів калійних руд у ціликах камер. В силу багатofакторності, затоплення рудника супроводжується донасиченням агресивних розчинів шляхом розчинення соляних порід та розвитком соляного карсту із підрізанням та обвалюванням ціликів. З’ясовано, що одна літра прісної води, яка досягла товщі калійних солей, здатна розчинити 362 г солей. У карстознавстві є правило: “об’єм породи, який розчинився, з часом дорівнюватиме об’єму породи, яка провалилась”.

Постановка проблеми. Основною проблемою є прогноз стану геологічного середовища калійного родовища в умовах затоплення виробленого простору рудника № 2 Стебницького ГХП “Полімінерал”, яку розв’язували під час вирішення таких завдань:

аналізу матеріалів гідрогеологічного моніторингу, польових обстежень гірничих виробок та ділянок розвитку соляного карсту, експериментального та матеріально-балансового моделювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Методичним аспектам моделювання, геодинамічним процесам на соляних родовищах, насамперед соляному карсту в межах Стебницького родовища, процесам формування насичених соляних розчинів присвячено публікації В. О. Дяківа, А. М. Гайдіна, І. В. Чікової, І. І. Зозулі, П. М. Білоніжки [1–7]. Особливості гідрогеологічних умов Стебницького родовища розглянуті у роботі А. А. Варламова зі співавторами [8].

Проблеми та явища, що відбуваються за підземного вилуговування соляних порід, та процеси їх руйнування розглянуто у працях П. М. Дутко та В. Г. Зильбершмидта зі співавторами [9–10]. У праці С. М. Кореневського розглянуто питання геологічної будови та умов формування калійних родовищ Передкарпаття [11].

У працях Г. А. Максимовича та Я. М. Семчука розглянуто теоретичні та прикладні аспекти картознавства та проблеми техногенних порушень геологічного середовища у районах розробки калійних родовищ.

Мета статті – Оцінка закарстованості та стану гірничого масиву затопленого рудника № 2 Стебницького ГХП “Полімінерал” за результатами експериментального та матеріально-балансового моделювання.

Виклад основного матеріалу. Стебницьке родовище полімінеральних калійно-магнієвих руд сульфатного типу є найбільшим серед розвіданих родовищ України та експлуатувалось з середини XIX ст. аж до кінця другої половини XX ст. Запаси родовища розробляли два рудники – № 1 потужністю до 1 млн тонн на рік та № 2 потужністю до 3 млн тонн на рік. До основних об’єктів технологічного комплексу підприємства входили збагачувальна фабрика та хвостосховище. Складні гідрогеологічні та гірничо-геологічні умови родовища призвели до появи водопріпливів у рудниках, які або вдавалось локалізувати, або вони призводили до формування депресійних лійок та активізації карсту [7, 8, 11, 14]. Межі гірничих відводів, розташування промплощадок та стовбурів рудників № 1 та № 2, хвостосховища Стебницького ГХП “Полімінерал”, ділянок водопріпливів, депресійних лійок та карстових провалів, відносно житлової забудови населених пунктів (рис.1).

Якщо у руднику № 1 водопріпливи вдалось локалізувати, то рудник № 2 з 80-х років минулого століття вважався аварійним, із небезпечними водопріпливами. Рудник № 2 експлуатували з 1966 до 1988 рр. За цей період видобуто 32 млн тонн калійних солей та утворено близько 15 млн м³ техногенних пустот. З 1988 р. рудник № 2 зупинено у зв’язку із запланованою реконструкцією збагачувальної фабрики і в подальшому, з 1993 р., планували відробку залишкових запасів на III–IV горизонтах (близько 42 млн тонн по категоріях А+В+С1) і ліквідацію його. Однак реконструкція збагачувальної фабрики не відбулася в зазначені терміни, а небезпечний водопріплив, який почався 23 жовтня 1978 р. у камеру 115/1-вент., на пласті № 10 Пд-Сх, призвів до аварійного стану рудник № 2.

В умовах обводнення і проникності надсолевих порід ресурси розсолів, які надходили у рудник, не обмежені. Це призвело до постійного зростання загальних водопріпливів. У соленосній товщі утворилася значна кількість карстових пустот і порожнин. У районі прориву вод сформувалася велика депресійна лійка. Усі спроби

ліквідувати аварійний водопріплив не увінчалися успіхом. Водопріпливи постійно зростали: від 200–400 м³ на добу у 1978 р. до 300–520 м³ на добу у 1986–1988 рр. та до 500–600 м³ у 1991 р. Наприкінці 1996 р. водопріплив фіксується на рівні 700–755 м³ на добу, а вже у лютому 1997 р. констатується зростання водопріпливу до 804–867 м³ на добу. Зважаючи на те, що 1 м³ прісної води здатен розчинити понад 400 кг соляних мінералів, потрапляння води у рудник № 2 супроводжувався розвитком техногенно-активізованого соляного карсту. Зі зростанням водопріпливу з кожним роком на поверхні майже щорічно з'являлися нові карстові провали. Деякі карстові форми активізувались двічі.

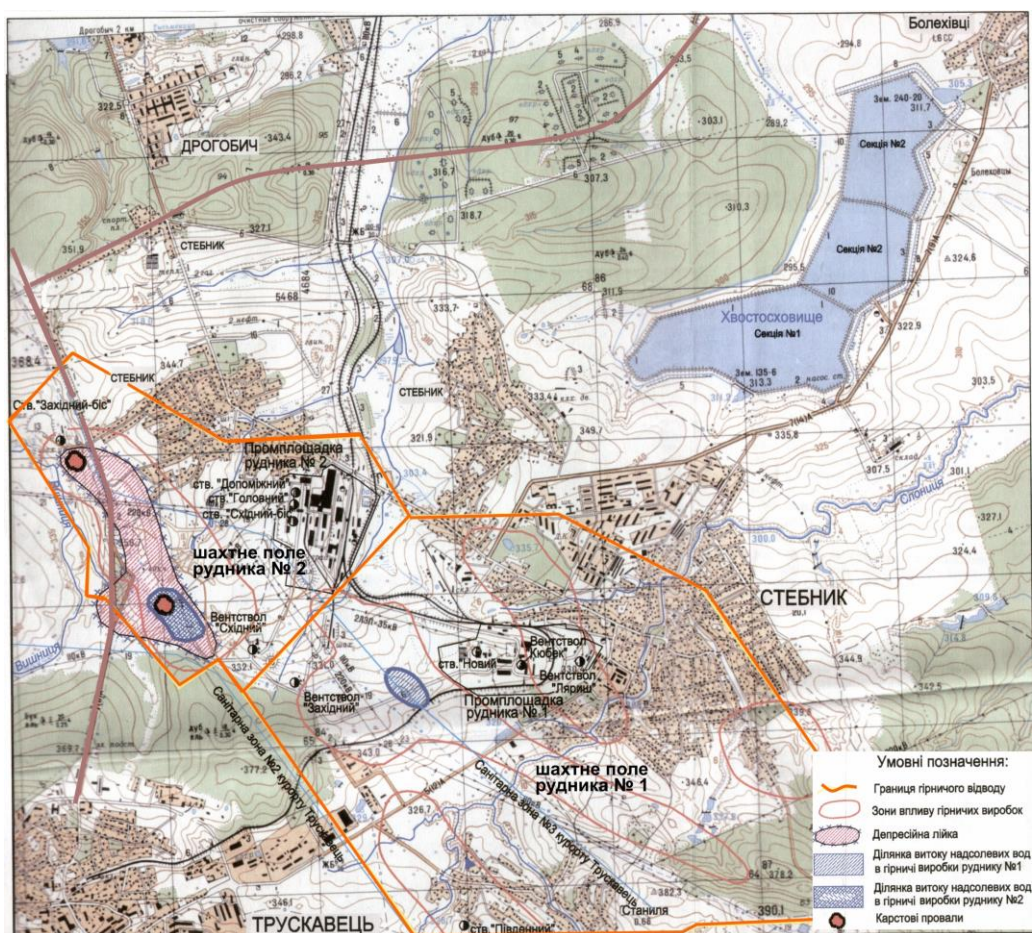


Рис. 1. Межі гірничих відводів, розташування проммайданчиків та стовбурів рудників № 1 та 2, хвостосковища Стебницького ГХП “Полімінерал”, ділянок водопріпливів, депресійних ліянок та карстових провалів, відносно житлової забудови населених пунктів

За цей час станом на грудень 2001 року більшість гірничих виробок II, III та IV горизонтів вийшли із ладу. Існуючі водовідливні станції та водотранспортна мережа були, фізично зношені та в аварійному стані. Під час розгляду ситуації провідні фахівці підприємства, представники проектних і науково-дослідних інститутів, а також органів державної влади визнали ситуацію на руднику № 2 Стебницького ДГХП “Полімінерал” передаварійною, вирішення якої вимагало втручання органів Державної влади та управління усіх рівнів, проте зважаючи на стан гірничих виробок на нижніх горизонтах рудника, основних фондів його і незворотність негативних процесів, рекомендувати прийняти рішення згідно з чинним законодавством про керувану ліквідацію рудника № 2.

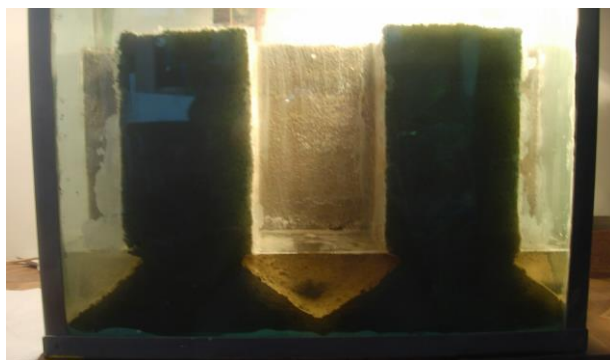
Ураховуючи цю ситуацію, Міністерство промислової політики України прийняло рішення про припинення відкачки розсолів з 1 січня 2002 та доручило генеральному проектувальнику Стебницького ДГХП “Полімінерал” – “Інституту “ГІРХІМПРОМ” – розробити вихідні дані та проект мокрої консервації. На основі ТЕО та вихідних даних, запропонованих Стебницьким ДГХП “Полімінерал” в комбінації з варіантом Відділення гірничо-хімічної сировини Академії гірничих наук України, Інститут “ГІРХІМПРОМ” розробив “Комплексний проект консервації рудника № 2 і рекультивациі порушених земель Стебницького ДГХП «Полімінерал»”, який був затверджений розпорядженням Кабінету Міністрів України № 166-р. від 24 березня 2004 р. і який мав бути профінансований з державного бюджету України протягом восьми років. За вісім років, з 2004 р. до 2012 р., на проект з державного бюджету України було витрачено 30 % його кошторисної вартості.

Отже, на момент укладення угоди купівлі–продажу ДГХП “Полімінерал” у 2013 р. “Комплексний проект консервації рудника № 2 і рекультивациі порушених земель Стебницького ДГХП «Полімінерал»” мав бути завершений, однак реалії виявились зовсім інші.

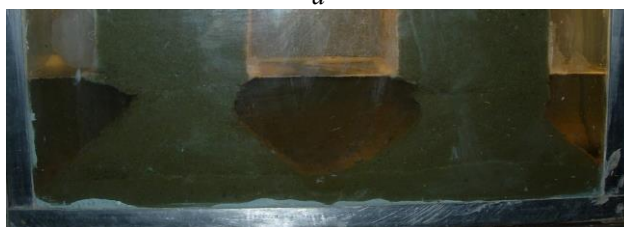
У процесі моніторингових спостережень та моделювання стану гірничого масиву рудника № 2 у 2006–2007 рр. А. М. Гайдін та В. О. Дяків прогнозували ризик утворення крупних провалів за механізмом підризання та обвалювання ціликів [1, 2, 3, 4, 5, 6] – рис. 2.

Геолого-маркшейдерська служба СГХП “Полімінерал” (А. В. Драновська, З. З. Хевпа) спільно із фахівцями Наукового Центру ТзОВ “Інститут “ГІРХІМПРОМ” (В. О. Дяків) 15 січня 2015 р. задокументувала відсутність п’яти ціликів між камерами 108-109-110-111-112-113 [6].

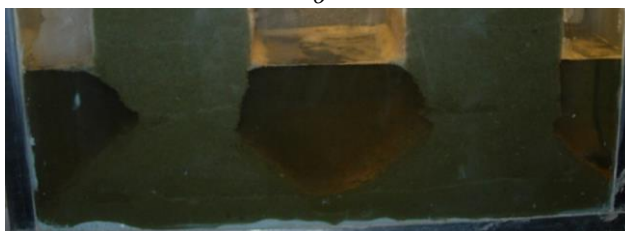
23 березня 2015 р. на ПАТ Стебницьке ГХП “Полімінерал” відбулося засідання Львівської обласної комісії із техногенно-екологічної безпеки та надзвичайних ситуацій під головуванням О. Ф. Титаренка, рішенням якої заборонено доступ персоналу у рудник № 2, а чітке місце майбутнього провалу денної поверхні № 27 визначене геолого-маркшейдерською службою СГХП “Полімінерал” спільно із фахівцями Наукового Центру ТзОВ “Інститут “ГІРХІМПРОМ” А. М. Гайдіним та В. О. Дяківим, яке згодом служби підприємства обгородили та встановили попереджувальні знаки.



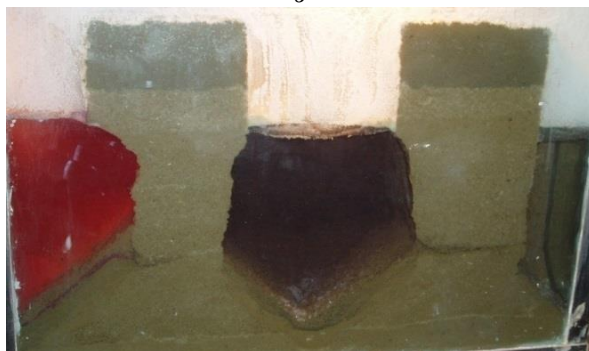
a



б



в



г

Рис. 2. Результати експериментального моделювання розчинення ціликів у агресивному розсолі – від початкового розчинення (*a*); формування ніш вилуговування (*б*); зростання асиметрії ніш вилуговування (інтенсивне розчинення ціликів камери з водоприпливом, сповільнене розчинення у камері № 3 та ледь помітне розчинення у камері № 3) (*в*); до передобвального стану (*г*)

30 вересня 2017 р., 0 год 46 хв, на пласті № 10 Пд-Сх рудника № 2 Стебницького ГХП “Полімінерал” у районі камер № 108-109-110-111-112-113 стався карстовий провал із діаметром на денній поверхні 220–230 м та глибиною 45–47 м – № 27 (рис. 3).



Рис. 3. Провал № 27 на пласті № 10 Пд–Сх рудника № 2 Стебницького ГХП “Полімінерал” у районі камер № 108–109–110–111–112–113, який стався 30 вересня 2017 р., 0 год 46 хв (угорі), та карстове озеро на місці цього провалу станом на 2021 рік (унизу)

Унаслідок провалу виведено з ладу дві опори ЛЕП 35 кВ, припинене електропостачання м.Трускавця було відновлене за резервною схемою. Найкоротша відстань від провалу до автодороги Трускавець–Львів становила 350 м та до найближчих будівель – 600–700 м. Як уже зазначено, провал був спрогнозований на підставі експериментального та матеріально-балансового моделювання.

Наслідком провалу 30 вересня 2017 року став техногенний землетрус та гідравлічний удар. Визначено точну дату та точний час землетрусу – 0 год 46 хв. І хоча епіцентр землетрусу на кілька кілометрів не збігається із місцем провалу, про його техногенну природу свідчить точний час вимкнення електроенергії на ЛЕП-35 кВт – 0

год 47 хв, зафіксований диспетчерами “Львівенерго”, під час руйнування у провалі двох опор. Причиною техногенного землетрусу та гідравлічного удару стало падіння від 0,5 до 0,7 млн м³ обвальних порід сумарною масою понад 1 млн тонн у затоплений на 75 % рудник № 2 Стебницького ГХП “Полімінерал”.

15 березня 2020 року, вранці, близько 11.00, у районі камер 102–104 на відстані 70 м у напрямку на північ від провалу № 27, який стався 30 вересня 2017 року, утворився новий карстовий провал № 30 із діаметром близько 130–150 м та з дуже крутими, майже вертикальними бортами, які постійно обвалювались (рис. 4).



Рис. 4. Провал № 30 на пласті № 10 Пд–Сх рудника № 2 Стебницького ГХП “Полімінерал” у районі камер № 102-103-104, який стався 15 березня 2020 р., близько 11 год 00 хв (угорі), та карстове озеро на місці цього провалу станом на 2021 рік (унизу)

Це місце провалу було одним із трьох (два інші – над камерами 117–118 та 127–128), куди так само йшов водопритлив і де прогнозувались провалоутворення. Однак через неможливість прямих спостережень, як у 2014 р., точно спрогнозувати цей провал, на відміну від провалу, який стався 30 вересня 2017 р., не вдалось.

Новий провал жодним способом не вплинув на рівень карстового озера у провалі, який стався 30 вересня 2020 р., що є свідченням відсутності гідравлічного зв'язку між провалами, та визначену нами природу самих провалів, пов'язану із підрізанням ціликів агресивними водами та їхнім обвалюванням із часом.

У перші дні після обвалювання провал, який стався 15 березня 2020 р., був сухим, притому, що поруч, на віддалі 70 м, було розташоване карстове озеро із об'ємом води понад 35 тис. м³ та глибиною близько 8 м, що зайвий раз свідчить про те, що доміантним джерелом надходження вод у карстовий водоносний горизонт, з якого проходить затоплення рудника № 2 Стебницького ГХП “Полімінерал”, є води річки Вишниця: інші контури живлення є мізерно малі та суттєво не впливали та не впливають на загальний водний баланс.

Уже за три місяці після утворення провалу почало формуватись карстове озеро, а його борти із субвертикальних стали перетворюватись на більш стійкі, однак усе ще досить круті: із кутами від 35 до 45°, а у деяких місцях – до 60°.

Зсуви та опливини, особливо у періоди інтенсивних опадів, суттєво зменшили глибину провалу, яка нині становить близько 45 м від денної поверхні, а розміри провалу по периферії, за результатами точних вимірювань, становлять від 143 до 167 м.

У найближчі кілька років ми прогнозуємо подальше обвалювання бортів до кута природного відкосу – близько 30°, подібно до того вигляду, який нині притаманний для карстового озера у провалі, який стався 30 вересня 2017 р.

Спостереження показують, що навіть досить пологі борти провалу, який стався 15 березня 2020 р., із кутами відкосу біля 35° й далі продовжують деформуватись, головню, через опливини та мікроселеві потоки із невеличкими конусами виносу.

На крутих бортах провалу, який стався 15 березня 2020 р., із кутами відкосу близько 65°, продовжують відбуватися зсувні процеси, які часто супроводжуються обвалюванням дерев із кореневищами.

Опливини, зсувні маси, конуси виносу мікроселевих потоків та кореневища дерев активно деформують борти провалу № 30, який стався 15 березня 2020 р., до кутів природного відкосу, замулюють новостворене карстове озеро та призводять до того, що вода у водоймі є каламутною, особливо після опадів.

Варто зазначити, що провал № 30 стався тоді, коли усі камери рудника № 2 були практично повністю затоплені, а рівень затоплення у березні 2020 р. становив 214,15 м над рівнем моря (відмітка стеліни понад 90 % камер вентиляційного горизонту становить 210 м над рівнем моря).

Як показують результати моніторингових спостережень, з квітня до травня 2021 р. відбувалось дозаповнення камер вентиляційного горизонту, головню, в межах пласта “Основний”. Як впливає із графіка на рис. 5, на початок червня 2020 р. усі камери рудника № 2 були повністю затоплені.

За даними ПрАТ СГХП “Полімінерал”, з червня 2020 р. до березня 2021 р. відбувалось стрімке зростання рівня затоплення із підняттям від 7 до 13 м на місяць – у середньому 9–10 м на місяць із мінімумами 6,25 м у березні 2021 р. та 7,2 у грудні 2020

р., а також максимальним зафіксованим значенням – 13,4 м у лютому 2021 р. Причому у вересні 2020 р. рівень затоплення досяг відмітки солей – 255,5 м над рівнем моря.

У березні 2021 р. затоплення рудника № 2 досягло статичного рівня водоносного комплексу надсолевих відкладів, про що свідчать зафіксовані коливання від піднімання на 2,1 м у квітні та зниження на 1,13 та 0,92 м, відповідно, у травні та червні 2021 р., підняття рівня на 3,8 та 0,7 м, відповідно, у липні та серпні 2021 р. та зниження рівня на 0,5 м у вересні 2021 р. Цей період ми назвали періодом варіацій статичного рівня (рис. 5).

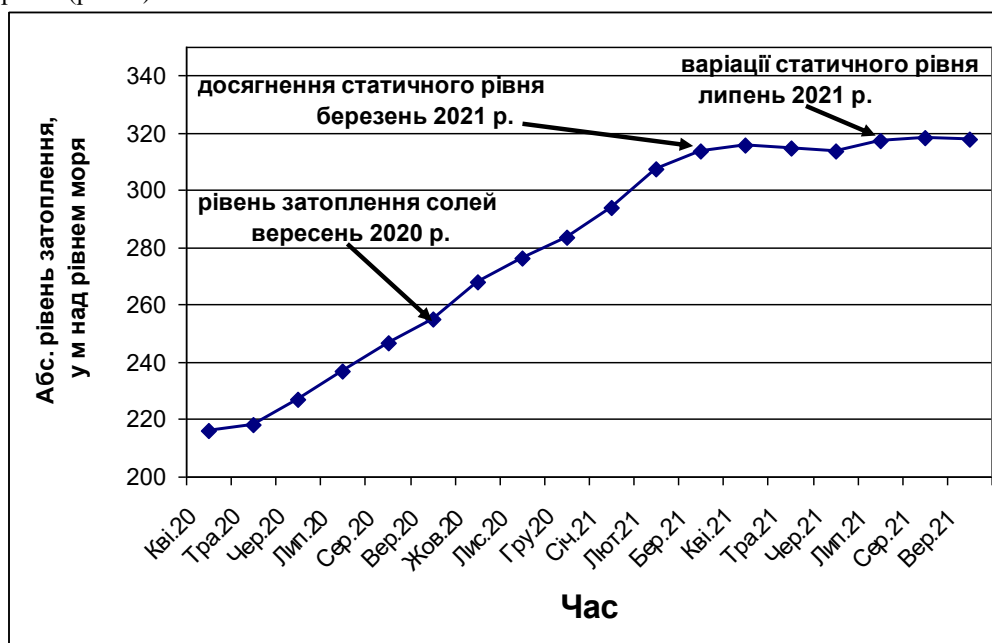


Рис. 5. Динаміка затоплення рудника № 2 після провалу № 30, який стався 15 березня 2020 р. (від квітня 2020 р. до вересня 2021 р.)

Наведені дані засвідчують, що рудник № 2 затоплений на 100 %, у тім числі усі гірничі виробки, включаючи водоперехоплюючі зумпфи дренажного горизонту, карстові канали та карстові порожнини. Рівень затоплення становить близько 318 м над рівнем моря (абсолютна відмітка старої дороги на найвищій ділянці близько 350 м над рівнем моря, а рівень ствола Головний – 340 м над рівнем моря).

Поінтервальні вересневі опробування вод рудника № 2 по стовбуру Головний виконано гідрогеологічною службою підприємства ГХП “Полімінерал”, результати яких наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Результати хімічного аналізу поінтервального опробування вод рудника № 2 по стовбуру Головний станом на вересень 2021 р.

Глибина відбору проби, у м над р.м.	Вміст компонентів, у г/л						Мінералізація по елементах
	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺	Сухий залишок	
318	2,5	17,2	10,9	11,0	3,7	35,5	45,3
290	9,1	115,3	31,4	76,5	23,8	250,77	256,1
260	9,7	166,2	32,6	118,0	29,3	346,29	355,8
210	20,4	189,7	46,8	123,0	41,0	388,41	420,9

Про швидкість насичення агресивних до легкорозчинних мінералів розсолів свідчать результати польового експерименту, проведеного нами у 2009 р. з 29 вересня до 13 жовтня, коли занурений зразок каїніт-лангбейнітового складу був занурений у приповерхневий шар ропи на рівні затоплення у камері № 110 – період водопритоку у рудник № 2 агресивних вод із карстового водоносного горизонту за схемою, показаною на рис. 6.

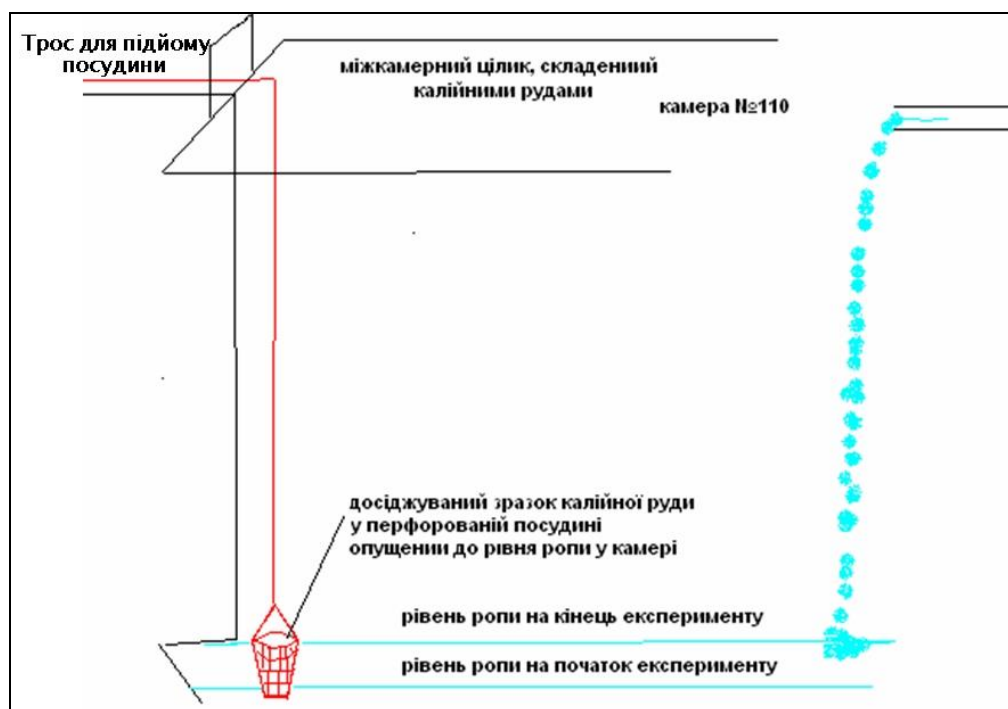


Рис. 6. Принципова схема польового експерименту, проведеного у камері 110 другого горизонту рудника № 2 2009 р. із дослідження часу насичення агресивних розсолів

Отримані результати польового експериментального моделювання показали, що агресивний розсіл стає рівноважним із вміщуючими соляними мінералами міжкамерних ціликів за лічені тижні, причому розчиняються практично усі легкорозчинні соляні мінерали, у тім числі галіт, а релікти галітового каркасу та вкраплень каїніту і лангбейніту зберігаються за умови ізолювання від агресивного розчину суцільним прошарком глини (рис.7).



Рис. 7. Результати польового експериментального моделювання у камері 110 другого горизонту рудника № 2, проведеного із 29 вересня до 13 жовтня 2009 р. з визначення швидкостей розчинення легкорозчинних мінералів у реальних умовах агресивним розсоллом, його насичення та переходу у рівноважний стан із вміщуючими соляними мінералами міжкамерних ціликів за лічені тижні, причому розчиняються практично усі легкорозчинні соляні мінерали, у тім числі галіт, а релікти галітового каркасу та вкраплень каїніту і лангбейніту зберігаються за умови ізолювання від агресивного розчину суцільним прошарком глини

Потрапляння агресивних карстових вод під час затоплення рудника № 2 у конкретні видобувні камери було експериментально змодельовано у 2006–2007 рр. [7, 8]. На підставі експериментального моделювання на фізичних моделях однозначно доведено невідворотність руйнування ціликів на 2-му та 1-му горизонтах, міжгоризонтної стеліни та утворення провалу на денній поверхні 2007 р. [7, 8]. Проведене моделювання дало можливість наочно відтворити не тільки теоретично передбачені особливості поведінки ціликів в агресивному середовищі, а й запропонувати науково обґрунтовані підходи до прогнозу втрати стійкості ціликів під час затоплення соляних копалень на прикладі рудника № 2 [3, 4, 5, 7, 8].

Для кількісної оцінки параметрів взаємодії агресивних водопритоків із легкорозчинними мінералами калійних руд у ціликах ми запропонували методу матеріально-балансового моделювання.

Вихідними даними для проведення матеріально-балансового моделювання стали: 1) результати дослідження мінерального складу, експериментальних досліджень та гідрохімічних розрахунків розчинності мінералів калійних руд Стебницького родовища; 2) розрахунки об'ємів калійних руд у міжкамерних ціликах; 3) дані гідрогеологічного та гідрохімічного моніторингу, який проводиться на руднику № 2; 4) польове документування дезінтеграції міжкамерних ціликів та деформації поверхні.

Експериментально, на підставі гідрохімічних розрахунків та польових обстежень, визначено:

1) первинне насичення прісних вод, що потрапляють у гідрогеологічну систему карстового водоносного горизонту, відбувається на ділянках поширення вмісних порід, складених галітом та глинистими мінералами та тільки по натрію і хлору;

2) 1 м³ прісної води сягає рівноважної концентрації по хлору та натрію, розчиняючи 0,16 м³ кам'яної солі, за її густини 2,1 г/см³;

3) рівноважною концентрацією з мінералами калійних руд характеризується калійно-магнієво-натрієво-сульфатно-хлоридний розчин із мінералізацією 362,2 г/л;

4) 1 м³ прісної води сягає рівноважної концентрації по калію, натрію, магнію, хлору та сульфатах, розчиняючи 0,2 м³ калійної руди, за її густини 2,2 г/см³;

5) до ціликів надходить практично насичена ропа по хлору і натрію та донасичується до мінералізації 362,2 г/л за тривалої у часі взаємодії із мінералами калійних руд відповідно до розрахованого показника – дефіциту насичення;

6) за середнього вмісту нерозчинного залишку – 15 %, у процесі розчинення 1 м³ руд із цілика, вивільняється 0,15 м³ глинистих та теригенних мінералів;

7) загальний об'єм дезінтегрованих руд дорівнює сумі об'єму розчинених сольових мінералів, еквівалентних дефіциту насичення та об'єму вивільнених глинистих та теригенних мінералів;

8) об'єми водоприпливів у камери № 110 та № 128 на пласті 10 ПД-Сх у співвідношенні 75 % (камера № 110) та 25 % (камера № 128);

9) розміри ціликів на II-му та I-му горизонтах становили: ширина – 12 м; висота – 44 м; середня довжина – 120 м; середній об'єм становив: 12x44x120= 63 360 м³.

Звичайно, спостереження за хімічним складом виявляють концентрації по 380, 400, 425 і навіть 450 г/л. Однак у таких випадках проходить процес метаморфізації розсолів, суть якого полягає у тому, що одні мінерали під час взаємодії із розчинами, що мають вищу мінералізацію, ніж 362,2 г/л, розчиняються, а з розчину осаджуються у вигляді нових твердих фаз. Причому фізико-механічні властивості соленосних порід змінюються у дуже вузькому діапазоні. Керуючись цим, під час матеріально-балансового моделювання процес метаморфізації розсолів із концентрацією вище 362,2 г/л ми не враховували.

На першому етапі матеріально-балансового моделювання визначали дефіцит насичення під час віднімання значень мінералізації розсолів карстового водоносного горизонту, які перехоплювали на дренажному горизонті перед скидом у камери № 110 та № 128, від концентрації рівноважного розсолу (362,2 г/л).

На другому етапі матеріально-балансового моделювання визначали розкид значень дефіциту насичення по роках та об'ємів водопритоків від січня 2007 р. – початку затоплення II-го горизонту до вересня 2020 р. (табл. 2).

На третьому етапі матеріально-балансового моделювання, під час складання матеріально-балансової моделі, проводили розрахунок розчинення сольових мінералів та вивільнення глинистих та теригенних нерозчинних складових калійних руд. Тоді знаходили об'єм руд, які перейшли у розчин та осіли у вигляді гідроізоляційного прошарку.

Таблиця 2

Середньорічні значення середнього дебіту водопритоків у м³/добу, середньої мінералізації (у г/л) та дефіциту насичення (у г/л) за розрахованими та апроксимованими значеннями розсолів, які потрапляли у камери на II-му і I-му горизонтах у 2007–2020 рр.

Рік	Середньорічний дебіт водопритоку, м ³ /добу	Середня мінералізація розсолів, г/л	Дефіцит насичення розсолів, г/л	Маса розчинення на добу, т
2007	1025	291	71,2	72,98
2008	1595	295	67,2	107,18
2009	1945	268	94,2	183,22
2010	2607	284	78,2	203,86
2011	2101	278	84,2	176,90
2012	2645	277	85,2	225,354
2013	1245	276	86,2	107,319
2014	1350	251	111,2	150,12
2015	2691	212	150,5	405,00
2016	2700	210	152,5	411,75
2017	2800	208	154,5	432,6
2018	2900	206	156,5	453,85
2019	3000	204	158,5	475,5
2020	3100	202	160,5	497,55

Вивчення закономірностей розчинення легкорозчинних солей та вивільнення глинистих мінералів, керуючись законом збереження маси та принципом забезпечення матеріального балансу, допомогло виявити, що у процесі затоплення II-го горизонту до моменту обвалу в районі камер № 108-109-110-111-112-113 із ціликів на пласті № 10 Пд-Сх вивільнився об'єм калійних руд – **236 374,9 м³**, який у 3,6 є більшим, ніж об'єм одного цілика – 63 360 м³, з них **177 281,2 м³** – це об'єм дезінтеграції калійних руд, що відповідає дезінтеграції більше половини об'єму, а саме – 2,7 цілика із п'яти наявних ціликів у районі обвалу поблизу камер № 108-109-110-111-112-113 (табл. 3).

Після того, як обвалились цілики на II-му горизонті в районі камер № 108-109-110-111-112-113, як було задокументовано прямими польовими спостереженнями у руднику № 2, карстовий процес й далі продовжувався пропорційно зростанню об'ємів водопритоків та зростанню їх агресивності у період з січня 2015 до вересня 2017 рр. – часу утворення провалу № 27.

Про це свідчать отримані результати матеріально-балансового моделювання, наведені у табл. 4.

Таблиця 3

Результати матеріально-балансового моделювання: розрахунку об'ємів розчинення солевих мінералів та об'ємів вивільнення глинистих та теригенних нерозчинних складових калійних руд, у період з 2007 до 2014 рр. – до обвалення ціликів на II-му горизонті в районі камер № 108-109-110-111-112-113

Рік	Маса розчинення на добу, т	Об'єм розчинення солей на добу, м ³	Об'єм вивільнення глини на добу, м ³	Сумарний об'єм розчинення солей та вивільнення глини на добу, м ³	Річний об'єм дезінтеграції калійних руд із ціликів, м ³	Річний об'єм дезінтеграції ціликів поблизу обвалу, м ³
2007	72,98	33,17	4,97	38,14	13924,25	10443,19
2008	107,18	48,72	7,30	56,03	20451,1	15338,32
2009	183,23	83,29	12,49	95,78	34961,05	26220,78
2010	203,83	92,65	13,89	106,54	38890,64	29167,98
2011	176,88	80,40	12,06	92,46	33749,66	25312,24
2012	225,39	102,45	15,36	117,82	43004,31	32253,23
2013	107,31	48,7	7,31	56,09	20474,85	15356,14
2014	162,05	73,66	11,04	84,70	30919,02	23189,26
Сумарний об'єм дезінтеграції на II-му гор-ті рудника № 2					236374,9	
У тім числі об'єм дезінтеграції калійних руд у районі обвалу поблизу камер № 108-109-110-111-112-113						177281,2

Таблиця 4

Результати матеріально-балансового моделювання – розрахунку об'ємів розчинення солевих мінералів та об'ємів вивільнення глинистих та теригенних нерозчинних складових калійних руд у період з січня 2015 до вересня 2017 рр. – часу утворення провалу № 27

Рік	Маса розчинення на добу, т	Об'єм розчинення солей на добу, м ³	Об'єм вивільнення глини на добу, м ³	Сумарний об'єм розчинення солей та вивільнення глини на добу, м ³	Річний об'єм дезінтеграції калійних руд, м ³	Річний об'єм дезінтеграції руд поблизу обвалу, м ³
-----	----------------------------	------------------------------------------------	-------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------

2015	405,00	184,0889	27,6133295	211,7022	77271,3	57953,48
2016	411,75	187,1591	28,0738636	215,233	78775,26	59081,45
9 міс. 2017	432,6	196,6364	29,4954545	226,1318	61733,99	46300,49
Сумарний об'єм дезінтеграції калійних руд на I-му горизонті рудника № 2					217565,3	
У тім числі об'єм дезінтеграції калійних руд у районі обвалу поблизу камер № 108-109-110-111-112-113						163174

Отримані результати свідчать, що за неповні три роки – від моменту обвалу ціликів у районі камер № 108-109-110-111-112-113 на пласті № 10 Пд-Сх з кінця 2014 р. до вересня 2017 рр. – часу утворення провалу № 27 – вивільнився об'єм калійних руд – **217 565,3 м³**, який лише на 8 % є меншим, ніж сумарний об'єм розчинення, що простежувався за вісім років, а саме з 2007 до 2014 рр. – часу затоплення 2-го горизонту.

Отже, отримані дані свідчать, що карстовий процес у період у середньому зріс майже втричі.

Після того, як 30 вересня 2017 р. стався провал № 27, води карстового водоносного горизонту потекли у камери № 102-103-104 на пласті № 10 Пд-Сх, карстовий процес й далі продовжував пропорційно зростати, а саме до 15 березня 2020 р. – часу утворення провалу № 30 – та до вересня 2020 р. – часу повного затоплення соленосних відкладів у зоні впливу рудника № 2.

Про це свідчать отримані результати матеріально-балансового моделювання, наведені у табл. 5.

Таблиця 5

Результати матеріально-балансового моделювання – розрахунку об'ємів розчинення солевих мінералів та об'ємів вивільнення глинистих та теригенних нерозчинних складових калійних руд у період з жовтня 2017 до вересня 2020 рр. – обвалення ціликів на 1-му горизонті й утворення провалу № 30 та повного затоплення соленосних відкладів у межах рудника № 2

Рік	Маса розчинення на добу, т	Об'єм розчинення солей на добу, м³	Об'єм вивільнення глини на добу, м³	Сумарний об'єм розчинення солей та вивільнення глини на добу, м³	Річний об'єм дезінтеграції калійних руд із ціликів, м³	Річний об'єм дезінтеграції ціликів поблизу обвалу, м³
3 міс. 2017	432,6	196,6364	29,4954545	226,1318	20804,13	15603,1
2018	453,85	206,2955	30,9443182	237,2398	86592,52	64944,39
2019	475,5	216,1364	32,4204545	248,5568	90723,24	68042,43
9 міс. 2020	497,55	226,1591	33,9238636	260,083	71262,73	53447,05
Сумарний об'єм дезінтеграції калійних руд на I-му горизонті					269382,6	

рудника № 2		
У тім числі об'єм дезінтеграції калійних руд у районі обвалу поблизу камер № 102-103-104		202037

Отримані результати свідчать, що за неповні три роки – від моменту провалу № 27 у районі камер № 108-109-110-111-112-113 на пласті № 10 Пд-Сх з жовтня 2017 р. до часу утворення провалу № 30 15 березня 2020 р. та повного затоплення соленосних відкладів у межах рудника № 2 у вересні 2020 р. – вивільнився об'єм калійних руд – **269 382,6 м³**, який на 14 % є більшим, ніж сумарний об'єм розчинення, що простежувався за вісім років, а саме з 2007 до 2014 рр. – часу затоплення 2-го горизонту – на 20 % більшим, ніж показники з січня 2015 до вересня 2017 рр.

Отже, такі дані свідчать, що карстовий процес до максимуму – у чотири рази від середньорічних значень 2007–2014 рр. – повністю припинився у вересні 2020 р.

Отримані результати дають нам підстави сьогодні обґрунтовано стверджувати, що рух агресивних вод над гірничими виробками рудника № 2 припинився й тому розширення двох існуючих карстових каналів під старою дорогою, чи утворення тут нових карстових порожнин унеможливується, а утворення нових провалів можливе лише на ділянках інтенсивного динамічного навантаження. На інших ділянках, у тім числі над затопленими виробками, утворення провалів малоімовірно.

Уже сьогодні розсоли є рівноважні із соленосними відкладами, тому карст уже не може розвиватись. На прикладі інших затоплених рудників можна спрогнозувати, що провалутворення малоімовірні та можливі лише за механізмом поршневого витіснення на ділянках, де з тієї чи іншої причини відклади над гірничими виробками чи порожнинами є нестійкими, чи є зовнішній чинник, який може викликати таку нестійкість.

За найпесимістичніших оцінок ситуації дуже малоімовірні провали на двох ділянках: у районі камер 117-118 та 127-128, а також між старою дорогою та провалом, який стався 15 березня 2020 р.

У той же час дати хід та приблизити оптимістичний сценарій розвитку подій у зоні впливу рудника № 2 можна лише тоді, якщо виконати комплекс заходів зі стабілізації ситуації, що склалася, а саме – для забезпечення повної безпеки старої дороги потрібно провести роботи із закладки карстових каналів.

Висновки.

За результатами проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. Результати проведених робіт з експериментального та матеріально-балансового моделювання у реальних умовах затоплюваного рудника № 2, а також результати ревізійного поінтервального опробування показують, що на ділянках прямого контакту соленосних товщ із агресивними розсолами останні набувають рівноважної концентрації за лічені тижні.

2. Вивчення закономірностей розчинення легкорозчинних солей та вивільнення глинистих мінералів, керуючись законом збереження маси та принципу забезпечення матеріального балансу, допомогло виявити, що у процесі затоплення II-го горизонту до моменту обвалу в районі камер № 108-109-110-111-112-113 із ціликів на пласті № 10 Пд-Сх вивільнився об'єм калійних руд – 236 374,9 м³, який у 3,6 є більшим, ніж об'єм одного цілика – 63 360 м³, з них 177 281,2 м³ – це об'єм дезінтеграції калійних руд, що

відповідає дезінтеграції більше половини об'єму, а саме – 2,7 цілика із п'яти наявних ціликів у районі обвалу поблизу камер № 108-109-110-111-112-113.

3. За неповні три роки – від моменту обвалу ціликів у районі камер № 108-109-110-111-112-113 на пласті № 10 Пд-Сх з кінця 2014 до вересня 2017 рр. – часу утворення провалу № 27 – вивільнився об'єм калійних руд – 217 565,3 м³, який лише на 8 % є меншим, ніж сумарний об'єм розчинення, що простежувався за вісім років, а саме з 2007 до 2014 рр. – часу затоплення 2-го горизонту, причому карстовий процес у цей період у середньому зріс майже втричі.

4. Отримані результати матеріально-балансового моделювання свідчать, що за неповні три роки – від моменту провалу № 27 у районі камер № 108-109-110-111-112-113 на пласті № 10 Пд-Сх з жовтня 2017 р. до часу утворення провалу № 30 15 березня 2020 р. і повного затоплення соленосних відкладів у межах рудника № 2 у вересні 2020 р. вивільнився об'єм калійних руд – 269 382,6 м³, який на 14 % є більшим, ніж сумарний об'єм розчинення, що простежувався за вісім років, а саме з 2007 до 2014 рр. – часу затоплення 2-го горизонту – та на 20 % більшим, ніж показники з січня 2015 до вересня 2017 рр., що свідчить про те, що 2020 р. карстовий процес прискорився до максимуму – у чотири рази від середньорічних значень 2007–2014 рр. та повністю припинився у вересні 2020 р.

5. Після повного затоплення рудника № 2 техногенно-активізований соляний карст – у зоні впливу гірничих виробок, який тривав з жовтня 1978 р. до вересня 2020 р. – повністю припинився, руху підземних вод по соляних породах немає, що викликало їх розчинення та обвалювання, вже більше року не відбувається.

6. Сьогодні мінералізація 360 г/л розчинів на рівні кривлі солей є практично постійною, що рік тому (вересень 2020 р.), що на цей час, із незначними варіаціями. Це так звана рівноважна концентрація, яка у дуже обмеженому діапазоні може змінюватись унаслідок процесів так званої метаморфізації розсолів – сукупності процесів кристалізації нових мінералів за умови пересичення (що своєю чергою призводить до незначного зменшення мінералізації) та розчинення вже існуючих мінералів (що, відповідно, призводить до зростання мінералізації), а отже, без винесення та привнесення солей.

7. Значно більш небезпечною ситуацією для густонаселених територій, прилеглих до рудника № 2, була б ситуація, коли із рудника № 2 й далі відкачували б експоненційно зростаючі водоприпливи. Тоді дійсно була б катастрофічна ситуація із потенціалом утворення провалів діаметром понад 500 м над пластом “Основний”, поява яких, із дуже великою ймовірністю, супроводжувалась не “поштовхами”, а цілком реальними руйнівними землетрусами із людськими жертвами.

8. У межах гірничого відводу рудника № 2 є затоплені карстові порожнини, які вже не збільшуються у розмірах з причини припинення карстового процесу, але можуть деформуватись і навіть провалитись від зовнішніх чинників, наприклад, від динамічних навантажень від руху транспорту.

9. Аналіз геологічної будови на ділянках існуючої та будівництва нової дороги Львів–Трускавець показав, що під старою дорогою потужність надсольових відкладів (гіпсово-глинистих порід та суглинків) становить 95–107 м, і цю дорогу у закарстованому стані транспорт трясє з 1978 р. і ніяк не може обвалити, а по трасі нової дороги, де потужність надсольових відкладів становить 30–50 м, ще не було жодного вібраційного, мікросейсмічного чи іншого динамічного навантаження від руху фур та

багатотонних вантажівок чи великих автобусів. Відповідно, коли побудують нову дорогу, і по ній почнеться інтенсивний трафік важковагового транспорту, то обов'язково такі навантаження з'являться. Чи витримає 30–50-тиметрова стелина надсольових порід над карстовими порожнинами вібраційні, мікросейсмічні чи інші динамічні навантаження – спрогнозувати дуже важко, але з вищезазначених причин ймовірність деформації і провалоутворення на 400-таметровому відтинку нової дороги в десятки разів більша, ніж над старою дорогою.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дяків В. Експериментальне моделювання дезінтеграції галопелітових мінеральних асоціацій при затопленні рудника № 2 Стебницького ДГХП «Полімінерал» / В. Дяків // Вісник Волин. ун-ту. – 2007. – Вип. 2. – Ч. 2. – С. 285–291.
2. Дяків В. Експериментальне моделювання кінетики розчинення (дезінтеграції) галопелітових мінеральних асоціацій в агресивній ропі з рудника № 2 Стебницького калійного родовища / В. Дяків // Мінералогічний збірник Львів. ун-ту. – 2007. – № 57. – Вип. 2. – С.110–121.
3. Гайдін А. М. Геодинамічні процеси на соляних родовищах / А. М. Гайдін, В. О. Дяків // Матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. «Форум гірників – 2010» 21–23 жовтня 2010 р. – Дніпропетровськ, 2010. – С. 23–41.
4. Гайдін А. М. Деформації земної поверхні в зоні діяльності калійних рудників у Стебнику. / А. М. Гайдін, В. О. Дяків, І. В. Чікова // Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. – 2014. – № 2 (10). – С.112–119.
5. Гайдін А. М. Розсоли в затоплених калійних рудниках Передкарпаття / А. М. Гайдін, В. О. Дяків, І. І. Зозуля // Хімічна промисловість України. – 2012. – № 3 (110). – С.32–38.
6. Дяків В. О. Провал 30 вересня 2017 р. над рудником № 2 Стебницького ГХП «Полімінерал»: причини, наслідки та сучасний стан (за результатами матеріально-балансового моделювання та моніторингових спостережень) / В. О. Дяків, А. В. Драновська, З. З. Хевпа // Матеріали V Міжнар. наук.-практ. конф. «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування» : у 2 т. – Т. 2 (8–12 жовтня 2018 р., м. Трускавець). – Київ, 2018. – С. 103–115.
7. Білоніжка П. Стебницьке родовище калійних солей: розроблення, відходи збагачення руд, проблеми охорони довкілля / П. Білоніжка, В. Дяків // Праці наукового товариства ім. Шевченка. – Т. ХОХ, Геологічний збірник. – Львів, 2012. – С. 199–209.
8. Варламов А. А. Гидрогеологические условия Стебниковского месторождения калийных солей / А. А. Варламов, С. С. Козлов, В. К. Липницкий, А. Е. Ходьков // Материалы по гидрогеологии и геол. роли подземных вод. – Ленинград : Изд-во ЛГУ, 1971. – С. 124–132.
9. Дудко П. М. Подземное выщелачивание солей. – Москва : Недра, 1972. – 160 с.
10. Зильбершмидт В. Г. Разрушение соляных пород / В. Г. Зильбершмидт, В. В. Зильбершмидт, О. Б. Каймак – Москва : Наука, 1992. 144 с.
11. Корневский С. М. Геология и условия формирования калийных месторождений Советского Предкарпаття / С. М. Корневский, К. Б. Донченко // Геология месторождений калийных солей: Тр. ВСЕГЕИ. Нов. сер. – 1963. – Т. 99. – С. 3–152.
12. Максимович Г. А. Основы карстоведения / Г. А. Максимович. – Пермь, 1963. – Т. 1. – 444 с.
13. Максимович Г. А. Основы карстоведения / Г. А. Максимович. – Пермь, 1969. – Т. 2. – 529 с.
14. Семчук Я. М. Техногенне порушення геологічного середовища у районах розробки калійних родовищ / Я. М. Семчук // Уголь України. – 2001. – № 9 (537). – С. 41–45.
15. Семчук Я. М. Дослідження процесів розчинення та вилуговування соляних порід для оцінки наслідків затоплених калійних шахт / Я. М. Семчук, О. С. Малишевська // Хімічна промисловість України. – 2002. – № 1. – С. 9–12.

*Стаття: надійшла до редакції 13.11.2021
прийнята до друку 20.02.2022*

OPINION OF THE KARSTOLOGICAL SITUATION AND STATE OF THE MINING MASSIF OF RUDNIK № 2 OF THE STEBNITSKY GHP POLYMINERAL BY RESULTS OF EXPERIMENTAL AND MATERIAL-BALANCE MODELING

Vasyl Dyakiv¹, Zenon Hevpa²

*¹Ivan Franko National University of Lviv,
Hrushevsky Str., 4, Lviv, Ukraine, 79005
e-mail: dyakivw@yahoo.com;*

*²State Institution "The Institute of Environmental Geochemistry
of National Academy of Sciences of Ukraine",
Academician Palladin Avenue, 34A, Kyiv, Ukraine, 02000
e-mail: zenonzxv@gmail.com*

An analysis of the dynamics of flooding of rudnik N 2 Stebnitsky GHP "Polymineral", restoration of groundwater levels, observed variability of chemical composition in mine workings, formation of natural hydrogeological stratification of the underground hydrosphere, development of karstological situation and assessment of its actual state. It is proved that after the failure that took place on March 15, 2020, there was an accelerated flooding of mine workings, underground karst cavities and saline deposits by September 2020, with gradual extinction and cessation of technogen-activity karst as flooding of supersalt deposits by August 2021 and formation equilibrium with salt rocks chemical composition of brines. The termination of the karst process is also proved on the basis of the results of experimental and material-balance modeling.

Key words: Salt karst, Stebnyk deposit of potassium ores, mining massif, technogenic activation, experimental and material-balance modeling, estimation, analysis, forecast.