

ЕВОЛЮЦІЯ ПОСТМАЙНІНГОВИХ ЗМІН ГІДРОГЕОЛОГІЧНИХ УМОВ У ЗОНІ ВПЛИВУ НАЙБІЛЬШИХ КАРСТОВИХ ПРОВАЛІВ У МЕЖАХ СТЕБНИЦЬКОГО РОДОВИЩА КАЛІЙНИХ СОЛЕЙ

Василь Дяків¹, Зенон Хевпа², Олексій Огірчак³

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»,
просп. Академіка Палладіна, 34-а, Київ, Україна, 03680
e-mail: zenonzxv@gmail.com

³Стебницька гімназія № 6 імені Героїв АТО Дрогобицької ТГ,
вул. Грушевського, 10-а, Стебник, Україна, 82173
e-mail: oleksiyogirchak72@gmail.com

Описано еволюцію постмайнінгових змін гідрогеологічних умов у зоні впливу найбільших карстових провалів № 27 та № 30 у межах Стебницького родовища калійних солей, трансформації надсолевих відкладів унаслідок активізації карстопровальних явищ, формування карстових озер на їхньому місці. Подано оцінку змін геологічного середовища та самоорганізації ландшафту. Встановлено, що до та після утворення провалу № 27, який стався 30 вересня 2017 року, уся товща надсолевих відкладів була здренована. Як наслідок, кілька місяців провал № 27 був сухим. Лише у квітні 2018 року тут з'явилося невелике карстове озеро, розміри якого повільно зростали через перебування надсолевих відкладів у зоні аерації, завдяки кольматації відбувалось накопичення води за умови часткового розвантаження через репресійний конус у незатоплений рудник № 2. З утворенням провалу № 30, яке сталося 15 березня 2020 року, так само через перебування надсолевих відкладів у зоні аерації значно меншої потужності, на його місці практично відразу з'явилося карстове озеро, донні відклади якого так само забезпечували збереження водойми завдяки кольматації, за умови часткового розвантаження через другий репресійний конус, воно повільно зростало до цілковитого затоплення рудника № 2. Після цілковитого затоплення рудника № 2 у 2021 році репресійні конуси зникли, встановились пересічні гідрогеологічні умови, притаманні природним ландшафтам суходолу цієї території, рівні карстових озер почали значно швидше зростати. Здійснено оцінювання динаміки самозатоплення двох найбільших карстових провалів у межах рудника № 2 Стебницького родовища калійних солей і змін гідрогеологічних умов, які водночас відбуваються. Зокрема, проаналізовано часову динаміку змін провалів № 27 та № 30 і карстових озер, що формуються в них, виявлено вплив гірично-геологічних чинників у формуванні морфології та гідрогеологічних умов і зроблено прогноз самоорганізації ландшафту. Розвантаження вод четвертинного водоносного горизонту в карстові провали є головною гідрогеологічною умовою підняття рівня в озерах. Після цілковитого затоплення озер прогнозується первинне фільтраційне розвантаження озера на місці провалу № 27 в озеро на місці провалу № 30, а з нього в потічок Солецька Балка.

Ключові слова: соляний карст, Стебницьке родовище калійних руд, геологічне середовище, еволюція змін, гідрогеологічні умови, самоорганізація ландшафту, карстове озеро, депресійна лійка, репресійний конус.

Вступ. Одними з найбільш відомих подій 2017–2020 рр. у Дрогобицькій об'єднаній територіальній громаді були два крупні провали в межах гірничого відводу рудника № 2 Стебницького ГХП «Полімінерал». Тут 30 вересня 2023 р. та 15 березня 2020 р. утворилися два великі карстові провали, що мало значний резонанс, зокрема, неодноразово мешканці села Солець, одного з передмість м. Стебника Дрогобицької ОТГ, поруч із територією гірничого відводу рудника № 2 Стебницького ГХП «Полімінерал», протестували, перекидали автомобільну дорогу, вимагали вжити рішучих заходів для досягнення безпеки проживання.

Причиною цього було те, що 30 вересня 2017 р. утворення провалу № 27 о 0 годин 46 хвилин, з діаметром на денній поверхні 220–230 м та глибиною 45–47 м, супроводжувалося техногенним землетрусом. У будинках багатьох мешканців відчувались підземні поштовхи, а за неперевіреними повідомленнями, і утворення тріщин. Хоч і без техногенного землетрусу, але менш резонансним було й утворення провалу № 30, яке сталося 15 березня 2020 р., з діаметром на денній поверхні 160–165 м та глибиною 42–45 м, яке супроводжувалося обвалами та великими тріщинами на поверхні.

У зв'язку із цим надзвичайно актуальними є геоекологічні, інженерно-геологічні, карстологічні та гідрогеологічні спостереження за цими провалами, еволюцією змін ландшафту, підземних та поверхневих вод, відновлення ґрунтового покриву та прогноз імовірних сценаріїв розвитку подій, зокрема й небезпечних екзогенних геологічних процесів. Це актуально і з тієї причини, що ці два великі провали розташовані біля села Солець за кілька сотень метрів від житлової забудови, тут прокладена низка інфраструктурних об'єктів, на які мали вплив карстопровальні явища, зокрема й автодорога Т-14-13 «Львів – Трускавець», траса водогону «Гірне – Дрогобич», що забезпечує м. Стебник, Трускавець і Дрогобич питною водою, проходять дві високовольтні ЛЕП 220 кВ та ЛЕП 110 кВ, які так само можуть постраждати.

Постановка проблеми. Основною проблемою досліджуваної території є наявність гірничих виробок рудника № 2 в затопленому стані, два великі карстові провали, геологічне середовище навколо них перебувають у нерівноважному стані, насамперед це стосується гідрогеологічних умов, взаємопов'язаних підземних і поверхневих вод. У роботі зроблено спробу з'ясувати напрям, у якому відбувається еволюція гідрогеологічних умов.

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, З.З. Хевпи, І.В. Чікової, І.І. Зозулі, П.М. Білоніжки [1; 2; 4–6; 8; 9].

Мета статті – оцінити зміни гідрогеологічних умов, закарстованості та стану гірничого масиву в зоні впливу найбільших карстових провалів № 27 та № 30 у межах гірничого відводу затопленого рудника № 2 Стебницького ГХП «Полімінерал» за результатами польових гідрогеологічних спостережень.

Методика досліджень – польові гідрогеологічні спостереження за рівнями затоплення гірничих виробок рудника № 2, рівнями підземних вод у гідроспостережних свердловинах, рівнями води в карстових озерах, проведення аналізу зібраних даних, відображення гідрогеологічних умов на картах та розрізах, інтерпретація отриманих результатів і встановлення еволюції (закономірностей) постмайнінгових змін гідрогеологічних умов у зоні впливу найбільших карстових провалів у межах Стебницького родовища калійних солей.

Виклад основного матеріалу. Стебницьке родовище полімінеральних калійних руд сульфатного типу найбільше серед розвіданих родовищ України. Родовище працювало із середини XIX ст. і до кінця другої половини XX ст. видобуток досяг 4 млн т на рік.

Запаси родовища експлуатувало Стебницьке державне гірничо-хімічне підприємство «Полімінерал» у процесі розробки покладів двома рудниками – № 1, потужністю до 1 млн т на рік, та № 2, потужністю до 3 млн т на рік (рис. 1).

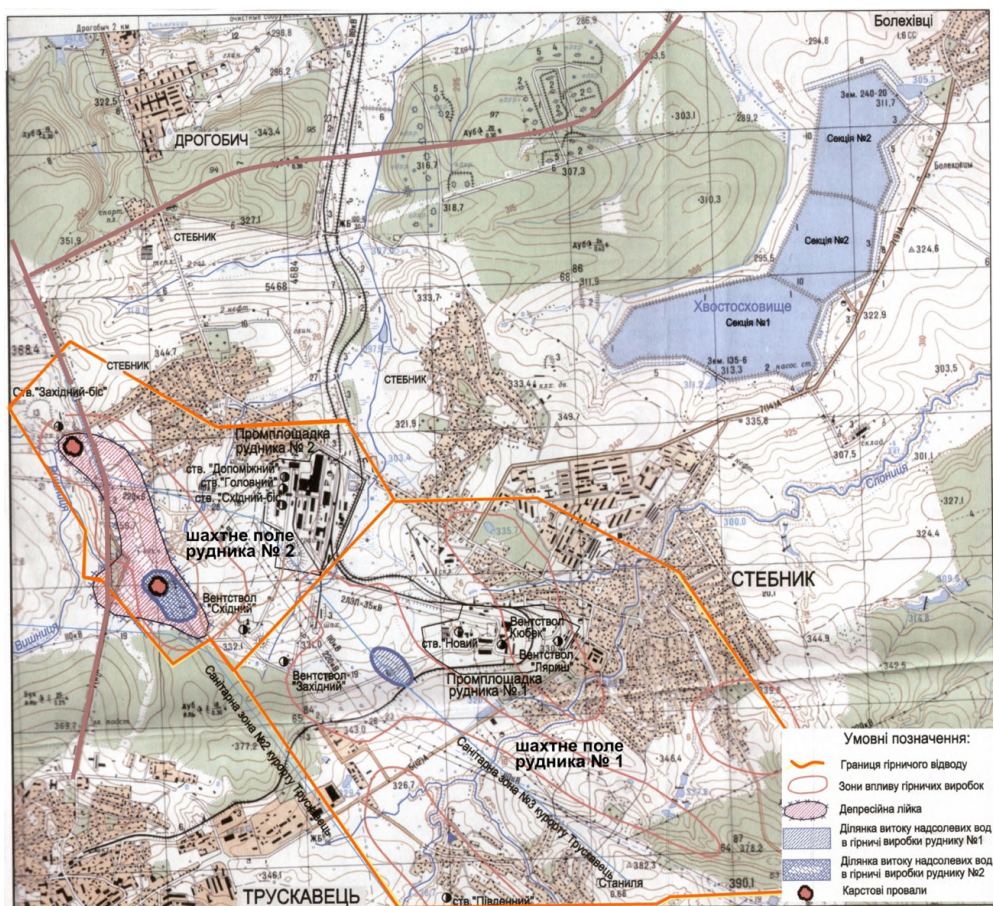


Рис. 1. Границі гіричних відводів, розташування промплощадок і стволів рудників № 1 та № 2, хвостосховища Стебницького ГХП «Полімінерал», ділянок водопритоків, депресійних ліяок і карстових провалів щодо житлової забудови населених пунктів

До основних об'єктів технологічного підприємства входили збагачувальна фабрика та хвостосховище. Складні гідрологічні та гірничо-геологічні умови родовища зумовили водопритоки в рудниках, які або вдавалось локалізувати, або вони призводили до формування депресійних ліяок і активізації карсту.

В основі геологічної будови залягають соленосні відклади воротищівської свити, які поділяють на нижню, середню і верхню свити. Відклади нижньоворотищівської свити становлять ядра антиклінальних складок, є фаціальними аналогами поляницької свити – засоленими та загіпсованими пісковиками, алевролітами, аргілітами, виділяються з появою в розрізі прошарків кам'яної солі та гіпсу. У верхах нижньоворотищівської свити з'являються пісковикомо-аргілітові брекчії з галітовим цементом. Загальна потужність нижньоворотищівської свити не перевищує 300–400 м.

Середньоворотищівська (загорська) свита (N_1vr_2) складена піщанистими пачками, що розділені потужною товщею соленої, переважно піщовистої брекчії.

Відклади загорської підсвіти значно поширюються та мають крила складок. У своєму типовому вигляді відклади представлені філітовими пісковиками та товщею екзотичних конгломератів, іноді перешаруванням сірих глин, аргілітів, пісковиків із філітами солених брекчій. Конгломерати складені гострими, майже не обкатаними і переважно не відсортованими уламками різної орієнтації, здебільшого зеленими та темно-червоними філітами. Цемент конгломератів піщано-глинистий, іноді глинисто-галітовий. Потужність відкладів загорської свити на Стебницькому родовищі досягає 450 м. Верхньоворотищівська свита є основною калієносною товщею, з її відкладами пов'язані запаси калійних солей Стебницького родовища (рис. 2).

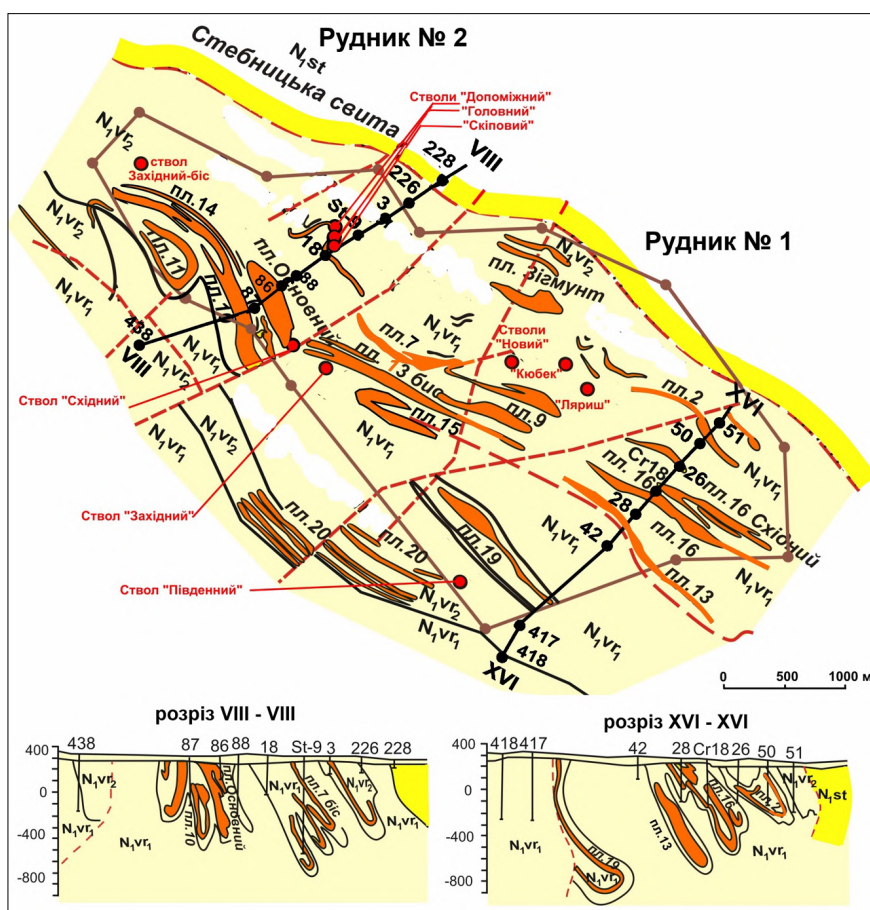


Рис. 2. Схематична геологічна карта та розрізи Стебницького родовища із просторовим розташуванням пластів калійно-магнієвих солей. Автор Ю.Е. Кудрявцев, 1985 р.

Відклади представлені товщею солених брекчій і глин, що вміщують пласти і лінзи кам'яних і калійних солей, пачки засолених алевролітів і пісковиків. Поклади калійних солей зім'яті у складки з локальними тектонічними розривними порушеннями

та виділяються у вигляді 20 розвіданих пластів. Пласти складені полімінеральними хлоридно-сульфатними солями. Основними породоутворювальними мінералами є: галіт, кайніт, лангбейніт, сильвін, полігаліт, кізерит, шеніт, епсоміт, а також глинистий алевритопіщаний нерозчинний залишок. Потужність верхньоворотиської свити досягає 1 000 м.

Видобувні роботи на руднику № 2 проводились у межах північно-західної частині Стебницького родовища. Для цього пройдено п'ять стовбурів і п'ять видобувних горизонтів. Головний стовбур має глибину 437,7 м, діаметром у 6 м. Найглибші стовбури пройдені до глибини 437 м. По стовбурах на глибину і на поверхню підіймалися і спускалися шахтарі. Горизонтальні виробки розташовані на 6 горизонтах: вентиляційному (глибина – 192 м), першому (252 м), другому (310 м), третьому (380 м), четвертому (440 м) і п'ятому (500 м).

На чотирьох із шести горизонтів калійні руди розроблялись камерним способом (камерною системою розробки) – за технологією, за якою послідовно відробляли розвідані запаси у вигляді пустот (камер) і залишених монолітів між ними – міжкамерних ціликів для забезпечення довготривалої стійкості геологічного середовища. На першому та другому горизонтах ширина камер була 15 м, а ціликів – 12 м, а на 3–4 горизонтах ширина камер була 22 м, а ціликів – 32 м.

Принципова схема камерного способу (камерної системи) розробки показана на рис. 3.

Після роздління руди вибухами її накопичували внизу камер. З камер, через систему послідовних гірничих виробок калійна руда вантажилась на вагонетки та транспортувалась до стовбурів і на поверхню. Загалом на чотирьох горизонтах рудника № 2 за 40 років проведення видобувних робіт утворилось приблизно 15 млн м³ техногенних пустот.

Видобування калійних руд у руднику № 2 Стебницького родовища камерним способом (камерною системою) стало первинним гірничо-геологічним чинником, який порушив стійкість геологічного середовища в межах гірничого відводу, а зона впливу гірничих робіт, за наявності водопритоків і активізації техногенно активізованого карсту, стала територією потенційного провалуоутворення.

Будівництво рудника № 2 на Стебницькому родовищі проходило в дуже складних гірничо-гідрогеологічних умовах, з постійною небезпекою натрапити на водопритоки різної природи. Адже як атмосферні опади, так і води четвертинних відкладів, потрапляючи на поверхню соляних порід, розчиняють їх і активізують розвиток соляного карсту – підземних порожнин, які із часом провалюються [6] (рис. 3).

Найбільш небезпечний водопритік у рудник № 2 почався понад 45 років тому, 23 жовтня 1978 р., коли у стінці відробленої камери № 115–1 вент. (висота якої 44 м), на глибині 72 м від кривлі солей, розпочався водопритік, який призвів до аварійного стану копальні (рис. 4).

Якби цей водопритік стався під час проходження розвідувальної виробки, то проблема була б вирішена тампонуванням чи побудовою гідроізоляційної перемички. Однак вода в жовтні 1978 р. потрапила в камеру № 115–1 вент. між проміжним і вентиляційним горизонтами, де технічно не було можливості припинити водопритік. У перший тиждень притік розсолу становив 5–7 м³/добу. Потім почав швидко наростати і через місяць досяг значень 250–300 м³/добу, з такою інтенсивністю продовжувався до 1986 р., після чого почав неухильно зростати, досягнувши в 1989 р. середньодобових значень у понад 500 м³/добу, у 1995 р. – понад 750 м³/добу, у 2001 р. – 900–1 100 м³/добу [6].

За час від початку водопритоку до 1 січня 2002 р. у рудник № 2 витекло приблизно 4,5 млн м³ розсолів і утворилося приблизно 600 тис. м³ карстових порожнин (розрахунково, за виносом солей), що до 2009 р. призводило до утворення різних за розміром, але переважно невеликих карстових провалів (рис. 5).

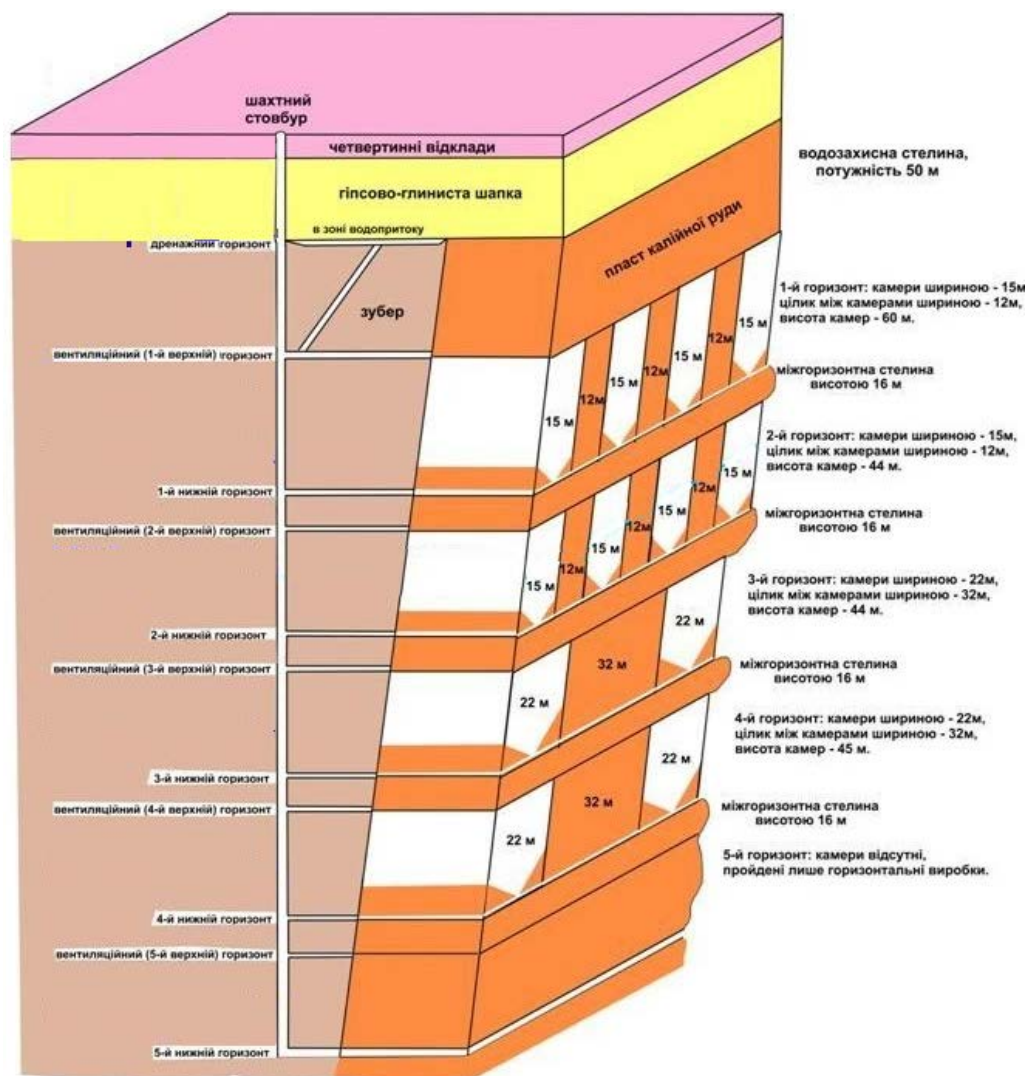


Рис. 3. Принципова схема (блок-діаграма) камерного способу (камерної системи) видобути запасів калійних руд у межах рудника № 2 Стебницького родовища

До грудня 2001 р. майже всі карстові води, які потрапляли в рудник № 2, відпомпувались на денну поверхню. З 1 січня 2002 р., відповідно до рішення державної комісії з надзвичайних ситуацій, відпомпювання припинилося, усі карстові води почали скидатись у глибокі горизонти рудника № 2, а саме з розсолотвірників на другому горизонті в камери № 110 та № 128 на пласті 10 ПД-Сх. Потрапляння таких агресивних вод зумовлює розчинення ціликів і проковує утворення великих провалів, що на основі експериментального моделювання було прогнозоване А.М. Гайдіним і В.О. Дяківим [1; 8] (рис. 6).



Рис. 4. Ділянка водопритоку, що зростає, у рудник № 2, із 23 жовтня 1978 р.



Рис. 5. Притік агресивних вод у рудник № 2, до 2009 р., призводив до утворення різних за розміром, але переважно невеликих карстових провалів: на світліні зліва – карстовий провал № 25, який утворився у квітні 2007 р., а справа – повторна активізація карсту № 20, що мала місце в жовтні 2009 р.



Рис. 6. Результати експериментального моделювання, які показують, що в разі потрапляння агресивних вод міжкамерні цілики розчиняються та руйнуються

Різке підняття рівня затоплення рудника № 2 в жовтні 2014 р. (3 м) та в листопаді 2014 р. (2,5 м) свідчило про руйнування ціликів, яке було підтверджено В.О. Дяківим, А.В. Драновською та З.З. Хевпою [6] під час проведення оглядового маршруту 15 січня 2015 р., коли було задокументовано обвалення 5 ціликів на 1-му та 2-му горизонтах у районі камер № № 108–113 пласта № 10 ПД-Сх (рис. 7).

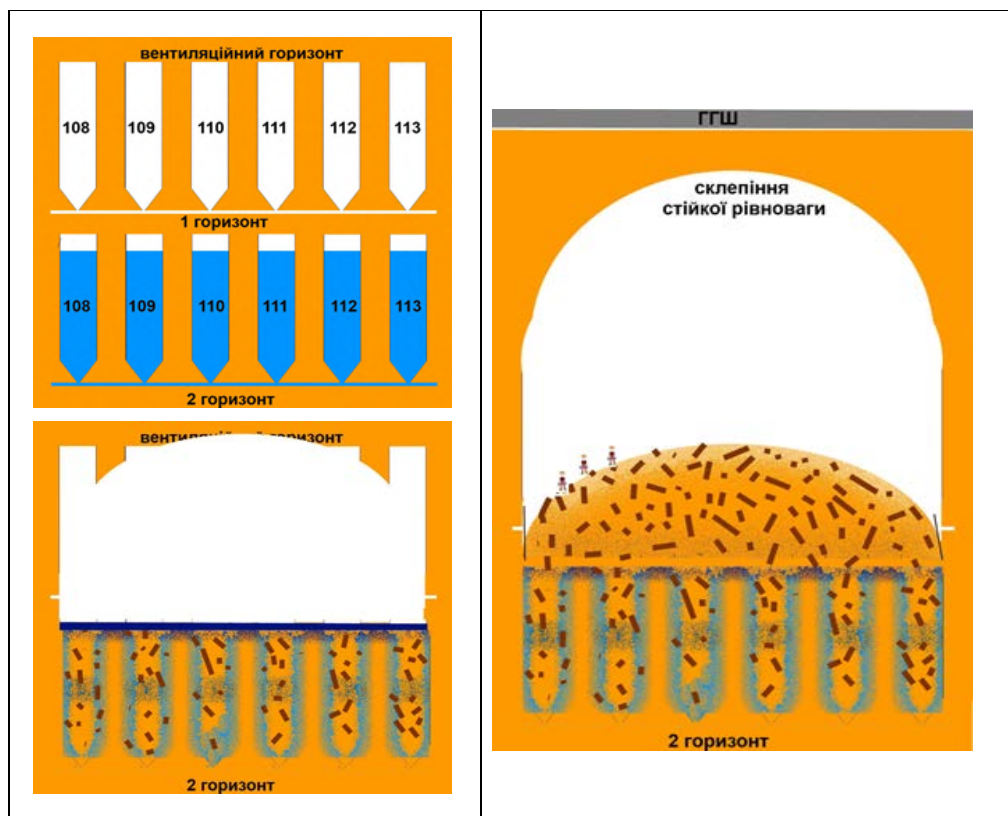


Рис. 7 (початок). Обвалення п'яти ціликів на 1-му та 2-му горизонтах у районі камер № № 108–113 пласта № 10 ПД-Сх, виявлене В.О. Дяківим, А.В. Драновською та З.З. Хевпою [6] під час проведення оглядового маршруту 15 січня 2015 р.

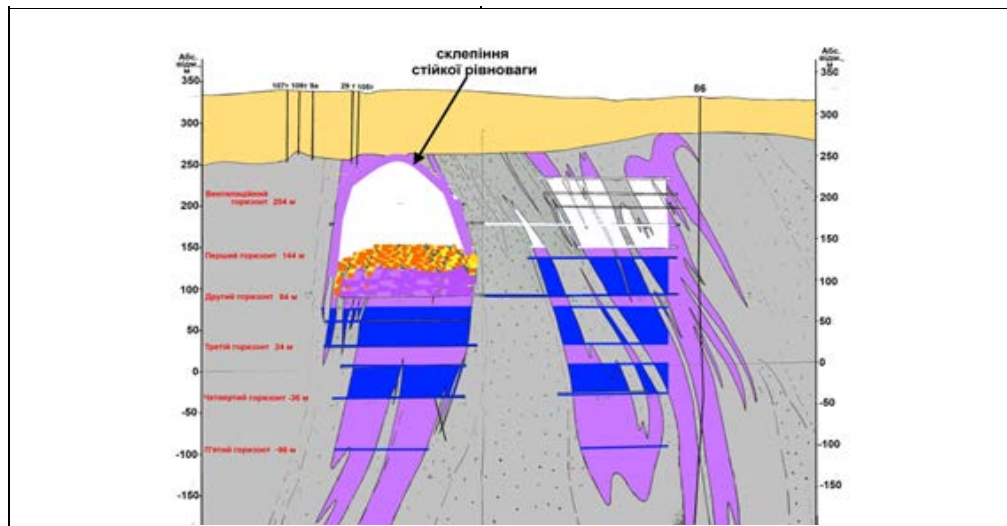


Рис. 7 (продовження). Обвалення п'яти ціликів на 1-му та 2-му горизонтах у районі камер № № 108–113 пласта № 10 Пд-Сх, виявлене В.О. Дяківим, А.В. Драновською та З.З. Хевною [6] під час проведення оглядового маршруту 15 січня 2015 р.

30 вересня 2017 р. о 0 годин 46 хвилин на пласті № 10 Пд-Сх рудника № 2 Стебницького ГХП «Полімінерал» у районі камер № № 108–113 стався найбільший карстовий провал № 27 із діаметром на денній поверхні 220–230 м та глибиною 45–47 м (рис. 8).

Унаслідок провалу виведено з ладу дві опори ЛЕП 35 кВ, припинене електропостачання м. Трускавця було відновлене за резервною схемою, а його наслідком став техногенний землетрус.

Уранці 15 березня 2020 р., десь об 11:00, у районі камер № № 102–104 на відстані 70 м у напрямку на північ від провалу № 27, який утворився 30 вересня 2017 р., з'явився новий карстовий провал № 30 із діаметром приблизно 130–150 м і з дуже крутими, майже вертикальними бортами, які постійно обвалувались (рис. 9).

До утворення провалу № 27, у серпні 2017 р., територія гірничого відводу рудника № 2 Стебницького ГХП «Полімінерал» нічим не відрізнялась від типових мозаїчних ландшафтів Передкарпаття, але вже в жовтні 2017 р. можна було спостерігати сухий карстовий провал (рис. 10).

Провал мав ізометричну округлу форму, площу у 38 200 м², з периметром 711 м, на денній поверхні діаметр становив 220–230 м, а глибина становила 45–47 м, а гідрогеологічні умови території характеризувались цілковитою здренованістю підземних вод у ґрунтовому масиві в рудник № 2, за винятком лінзи верховодки між двома майбутніми провалами (рис. 11).

Уже у квітні 2018 р. провал № 27 мав площу 38 001 м², з периметром 729,51 м (рис. 12).

Гідрогеологічні умови території станом на квітень 2018 р. характеризувались значною здренованістю підземних вод у ґрунтовому масиві, кольматцією дна провалу № 27, появою у провальній лійці карстового озера та його розвантаження через репресійний конус (рис. 13).

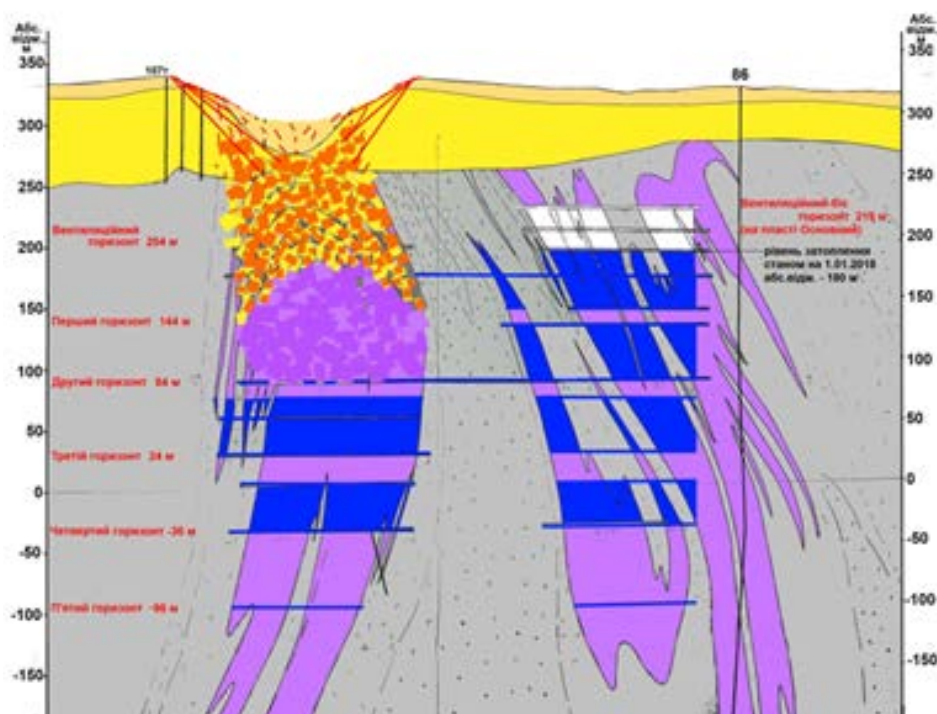


Рис. 8. Свіглина (угорі) та геологічний розріз карстового провалу № 27 на пласті № 10 Пд-Сх рудника № 2 Стебницького ГХП «Полімінерал» у районі камер № № 108–113, який утворився 30 вересня 2017 р. о 0 годин 46 хвилин (угорі)

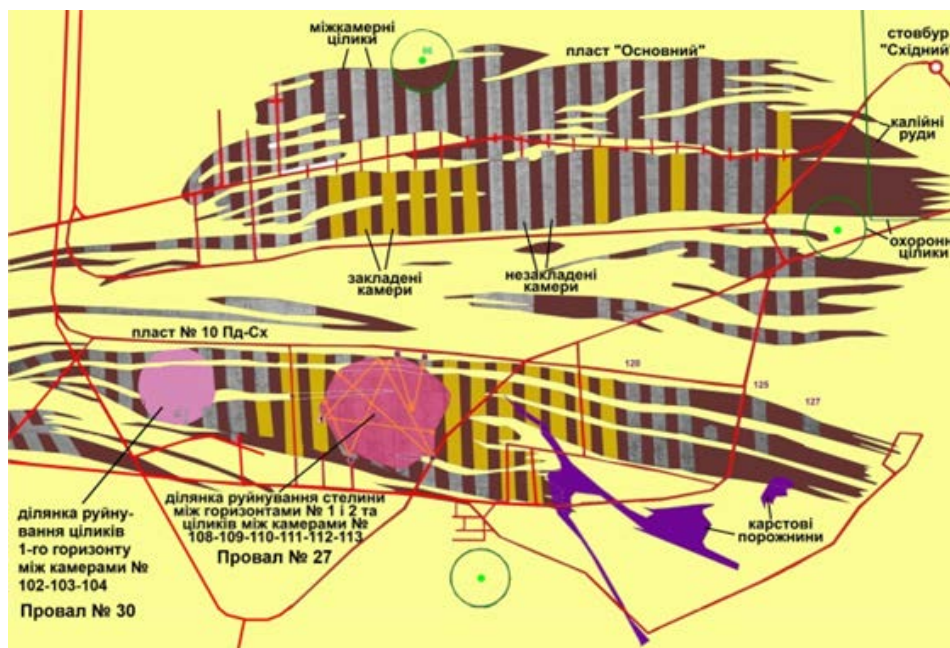
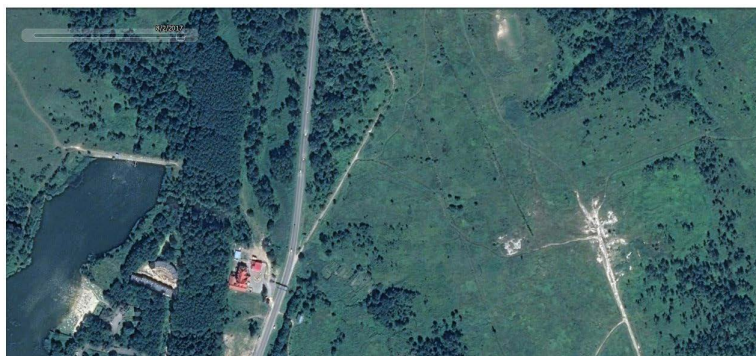
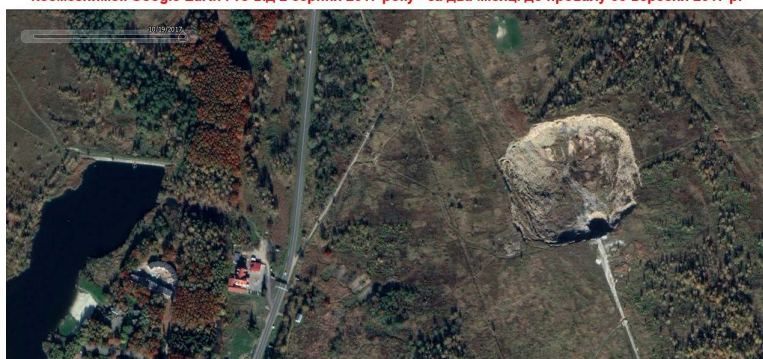


Рис. 9. Світлина (угорі) та локалізація на плані гірничих робіт (унизу) карстового провалу № 30 на пласті № 10 Пд-Сх рудника № 2 Стебницького ГХП «Полімінерал» у районі камер № № 102–104, який утворився 15 березня 2020 р. приблизно об 11:00 (угорі)



Космоснимок Google Earth Pro від 2 серпня 2017 року - за два місяці до провалу 30 вересня 2017 р.



Космоснимок Google Earth Pro від 19 жовтня 2017 року - через два тижні після провалу 30 вересня 2017 р.

Рис. 10. Ділянка до утворення провалу № 27, у серпні 2017 р., території гірничого відводу рудника № 2 Стебницького ГХП «Полімінерал» нічим не відрізнялась від типових мозаїчних ландшафтів Передкарпаття (угорі), але вже в жовтні 2017 р. можна було спостерігати сухий карстовий провал (унизу)

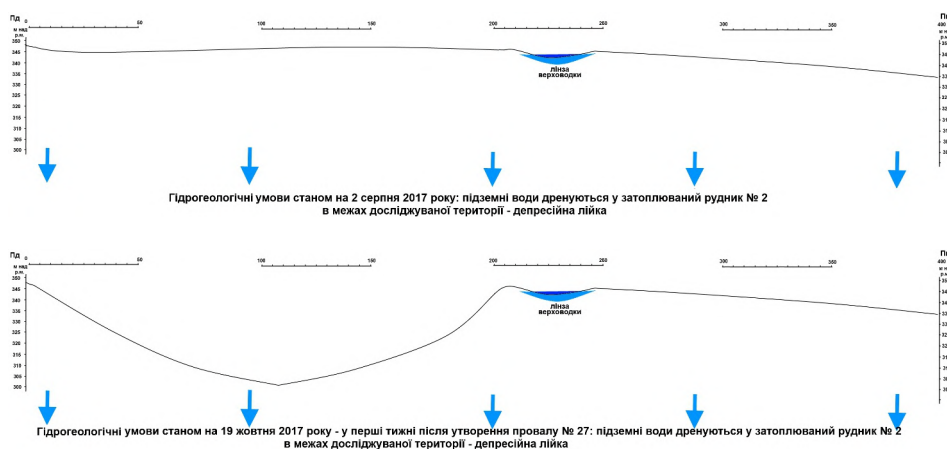


Рис. 11. Гідрогеологічні розрізи до (угорі) та після утворення провалу № 27 30 вересня 2017 р. (унизу): гідрогеологічні умови території характеризувались цілковитою здренованістю підземних вод у ґрунтовому масиві в рудник № 2, за винятком лінзи верховодки між двома майбутніми провалами

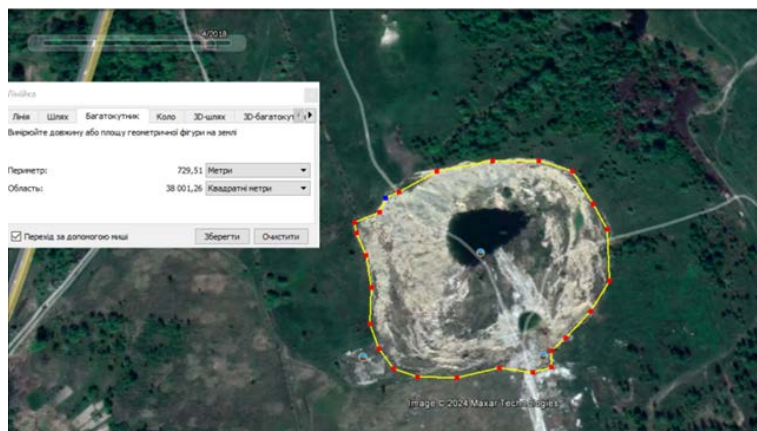


Рис. 12. Космознімок провалу № 27 у квітні 2018 р. з визначеною площею 38 001 м², з периметром 729 м

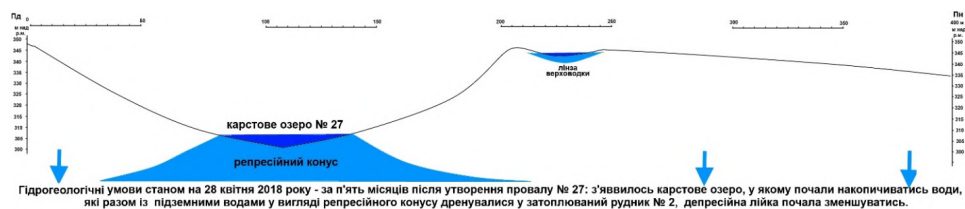


Рис. 13. Гідрогеологічний розріз досліджуваної території станом на квітень 2018 р.: значна здренованість підземних вод у ґрунтовий масив, кольматація дна провалу № 27, поява у провальній лінійці карстового озера та його розвантаження через репресійний конус у рудник № 2

У березні 2019 р. провал № 27 мав площу 38 894 м² і периметр 727 м (рис. 14).

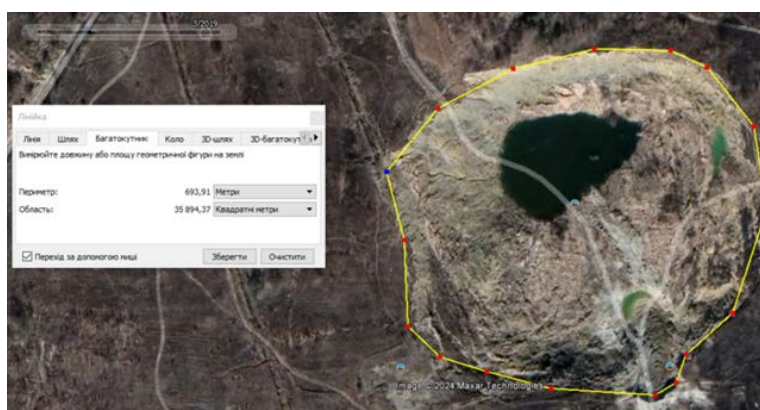


Рис. 14. Космознімок провалу № 27 у березні 2019 р. з визначеною площею 38 894 м² і периметром 727 м

Гідрогеологічні умови території станом на березень 2019 р. характеризувались здренованістю підземних вод у ґрунтовому масиві, подальшою кольматациєю дна провалу № 27, зменшенням зони аерації, незначним зростанням площі озера у провальній лійці та його розвантаження через більший репресійний конус (рис. 15).

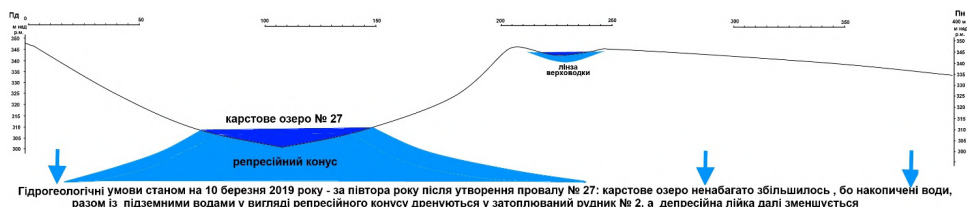


Рис. 15. Гідрогеологічний розріз досліджуваної території станом на березень 2019 р.: здренованість підземних вод у ґрунтовий масив, подальша кольматация дна провалу № 27, зменшення зони аерації, незначне зростання площі озера у провальній лійці та його розвантаження через більший репресійний конус

У лютому 2020 р. провал № 27 мав площу 38 920 м² і периметр 722 м (рис. 16).

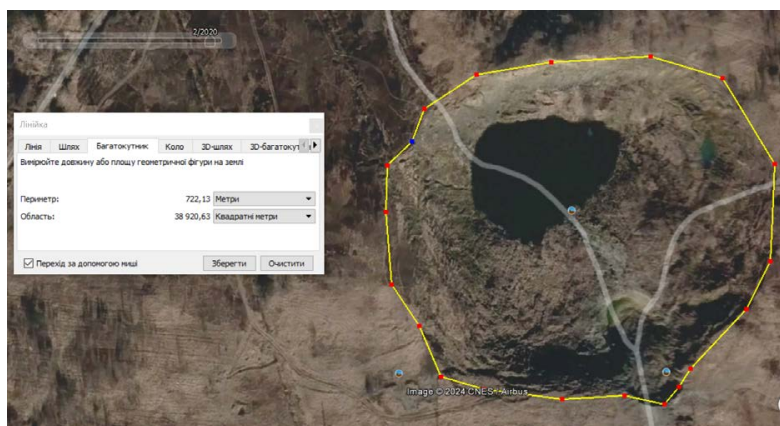


Рис. 16. Космоснімок провалу № 27 у лютому 2020 р. з визначеною площею 38 920 м² і периметром 722 м

Гідрогеологічні умови території станом на лютий 2020 р. характеризувались здренованістю підземних вод у ґрунтовому масиві, подальшою кольматациєю дна провалу № 27, зменшенням зони аерації, незначним зростанням площі озера у провальній лійці та його розвантаження через більший репресійний конус (рис. 17).

15 березня 2020 р. стався провал № 30, відтоді дається характеристика двох провалів. У вересні 2020 р. провали № 27 та № 30 мали загальну площу 48 790 м² і периметр 1 159 м (рис. 18).

Гідрогеологічні умови території станом на вересень 2020 р. характеризувались здренованістю підземних вод у ґрунтовому масиві, подальшою кольматациєю дна провалу № 27 та початковою кольматациєю провалу № 30, зменшенням зони аерації, зростанням площі обидвох озер у провальних лійках і їхнім розвантаженням через два репресійні конуси (рис. 19).

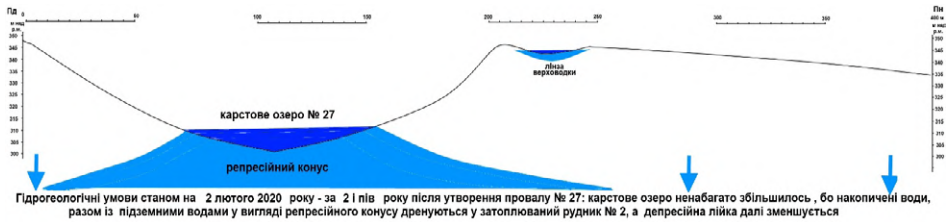


Рис. 17. Гідрогеологічний розріз досліджуваної території станом на березень 2019 р.: здренованість підземних вод у ґрунтовий масив, подальша кольматация дна провалу № 27, зменшення зони аерації, незначне зростанням площі озера у провальній лінійці та його розвантаження через більший репресійний конус

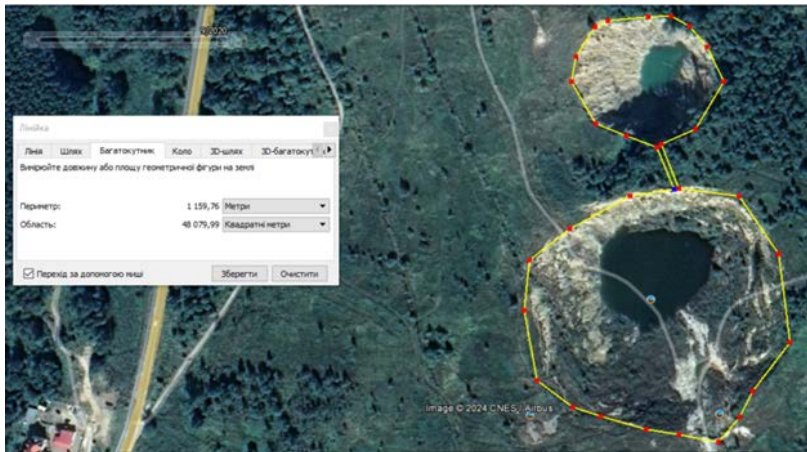


Рис. 18. Космоснімок провалів № 27 та № 30 у вересні 2020 р. з визначеною площею 48 790 м² і периметром 1 159 м

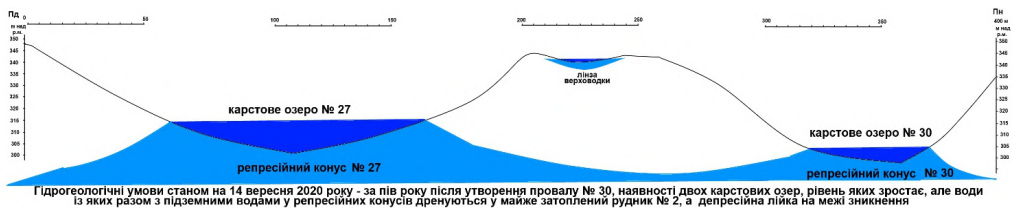


Рис. 19. Гідрогеологічний розріз досліджуваної території станом на вересень 2019 р.: здренованість підземних вод у ґрунтовий масив, подальша кольматация дна провалу № 27 та початкова кольматация провалу № 30, зменшення зони аерації, зростання площі обидвох озер у провальних лінійках та їхнє розвантаження через два репресійні конуси

У жовтні 2021 р. провали № 27 та № 30 мали загальну площу 50 888 м² і периметр 1 190 м (рис. 20).

Гідрогеологічні умови території станом на вересень 2020 р. радикально змінились після цілковитого затоплення рудника № 2, відтоді копальня перестала бути зоною розвантаження карстових озер через вищеописані репресійні конуси (рис. 21).

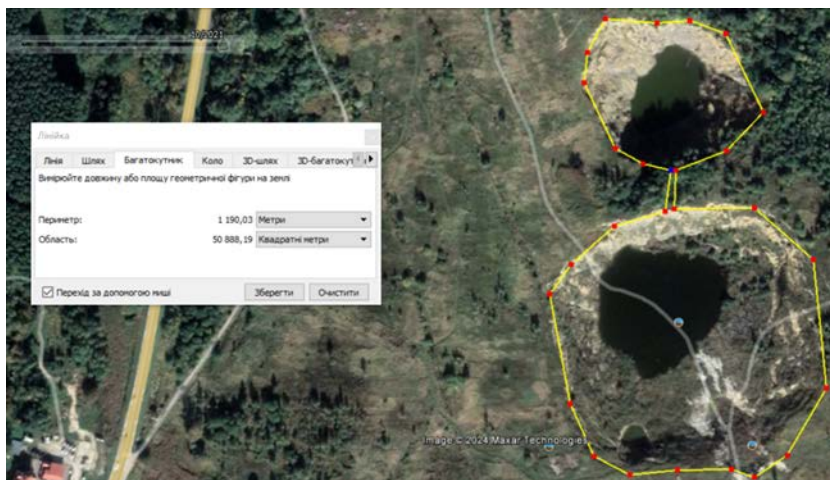


Рис. 20. Космоснімок провалів № 27 та № 30 у жовтні 2020 р. з визначеною площею 50 888 м² і периметром 1190 м

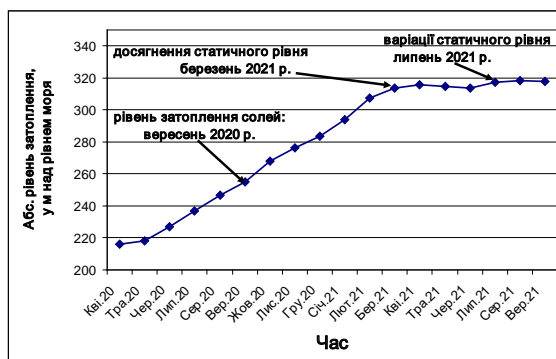


Рис. 21. Динаміка затоплення рудника № 2 після провалу № 30, який стався 15 березня 2020 р., від квітня 2020 р. до вересня 2021 р.: із цього часу копальня перестала бути зоною розвантаження карстових озер через репресійні конуси

Як наслідок, гідрогеологічні умови території навколо двох найбільших провалів стали подібними до інших локацій поза межами впливу копалень і характеризувались зменшенням зони аерації, значним зростанням площі обидвох озер у провальних лійках через зникнення підземного розвантаження та сприятливі умови для накопичення озерних вод (рис. 22).

Припинення підземного розвантаження через репресійні конуси, відновлення пересічних гідрогеологічних умов, випадання атмосферних опадів, танення снігу та розвантаження вод четвертинного водоносного горизонту призвели до того, що за два-три останні роки сформувались два повноцінні карстові озера, які із часом будуть розвантажуватись у потічок Солецька Балка (рис. 23 та 24).

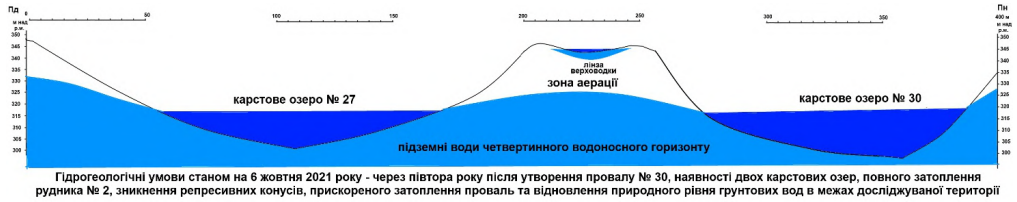


Рис. 22. Гідрогеологічний розріз досліджуваної території станом на жовтень 2021 р.: гідрогеологічні умови території навколо двох найбільших провалів стали подібними до інших локацій поза межами впливу копалень і характеризувались зменшенням зони аерації, значним зростанням площі обидвох озер у провальних лійках через зникнення підземного розвантаження та сприятливі умови для накопичення озерних вод

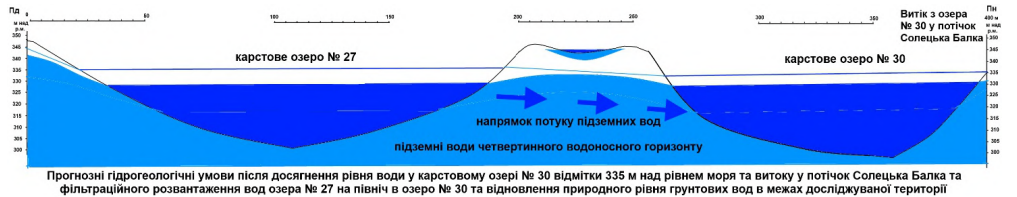
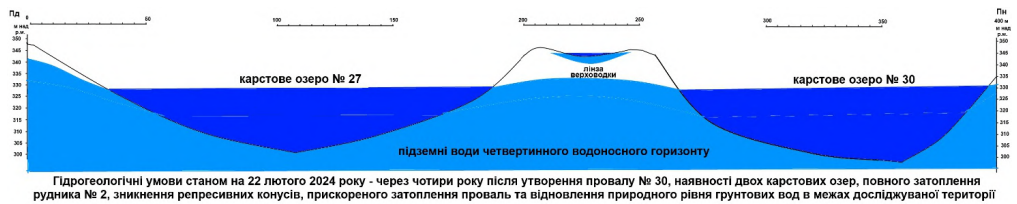


Рис. 23. Сучасний (станом на лютий 2024 р.) та прогнозований гідрогеологічні розрізи досліджуваної території: пересічні гідрогеологічні умови, зі зменшенням зони аерації, значним зростанням площі обидвох озер у провальних лійках, сприятливі умови для накопичення озерних вод із фільтраційним розвантаженням вод озера № 27 в озеро № 30, а звідти в потічок Солецька Балка

Висновки. За результатами проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. Відробка запасів калійних солей камерним способом із залишенням порожніх видобувних камер, тривале в часі надходження агресивних вод, розвиток соляного карсту з підрізанням міжкамерних ціликів і їх обвалювання є головними гірничо-геологічними умовами утворення найбільших карстових провалів у межах Стебницького родовища калійних солей.

2. Після утворення провалу № 27 почалась еволюцію постмайнінгових змін гідрогеологічних умов у межах досліджуваної території, трансформації надсолевих відкладів унаслідок активізації карстопровальних явищ, формування карстових озер на їхньому місці, зміни геологічного середовища, виявлені особливості самоорганізації ландшафту.

3. Встановлено, що до та після утворення провалу № 27, який стався 30 вересня 2017 р., уся товща надсолевих відкладів була здренована, оскільки перебувала в зоні впливу потужної депресійної лійки, де підземні води стікали в рудник № 2 і, як наслідок, кілька місяців після утворення провалу № 27 був сухим, лише у квітні 2018 р. тут з'явилося невелике карстове озеро.



Рис. 24. Карстові озера на місці провалів № 27 (угорі) та № 30 (унизу) станом на 22 лютого 2024 р.

4. Поява карстового озера в зоні аерації пояснюється літологічним складом надсолевих відкладів, зі значним вмістом глинистих мінералів та кольматуванням розрихленого, порушеного провалоутворенням ґрунтового масиву. Якщо б цього явища не було, а літологічний склад відкладів був переважно піщаний чи гравійний, без чи з мінімальним вмістом глинистого матеріалу, то карстові озера почали б утворюватись лише після цілковитого затоплення рудника № 2.

5. Доведено, що в період із квітня 2018 р. по вересень 2021 р. карстові озера на місці провалів № 27 та № 30 розвантажувались через репресійні конуси, розміри яких постійно зростали до повного затоплення рудника № 2 у період перебування надсолевих відкладів у зоні аерації.

6. Встановлено, що з утворенням провалу № 30, який стався 15 березня 2020 р., так само через перебування надсолевих відкладів у зоні аерації значно меншої потужності, на його місці практично відразу з'явилося карстове озеро, донні відклади якого так само забезпечували збереження водойми завдяки кольматації, за умови часткового розвантаження через другий репресійний конус, воно повільно зростало до цілковитого затоплення рудника № 2.

7. Після повного затоплення рудника № 2 у 2021 р. репресійні конуси зникли, встановились пересічні гідрогеологічні умови, характерні для природних ландшафтів суходолю цієї території, рівні карстових озер вирівнялись і почали значно швидше зростати. У процесі затоплення карстових озер динамічно змінюються морфологія провалів і берегова лінія новоутворених водойм.

8. Здійснено оцінку динаміки самозатоплення двох найбільших карстових провалів у межах рудника № 2 Стебницького родовища калійних солей і змін гідрогеологічних умов, які водночас відбуваються. Зокрема, проаналізовано часову динаміку змін провалів № 27 та № 30 і карстових озер, що формуються в них, виявлено вплив гірничо-геологічних чинників у формуванні морфології та гідрогеологічних умов, а також зроблено прогноз самоорганізації ландшафту.

9. Прогнозується, що після цілковитого затоплення карстових озер буде мати місце первинне фільтраційне розвантаження озера на місці провалу № 27 в озеро на місці провалу № 30, а з нього в потічок Солецька Балка.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гайдін А.М., Дяків В.О. Геодинамічні процеси на соляних родовищах. *Форум гірників – 2010* : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, 21–23 жовтня 2010 р. Дніпропетровськ, 2010. С. 23–41.
2. Геоекологічна характеристика та гідрохімічний склад водних товщ карстового озера, що формується на місці провалу № 27 над рудником № 2 Стебницького ГХП «Полімінерал» / В.О. Дяків та ін. *Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування* : матеріали Шостої міжнародної науково-практичної конференції, 7–11 жовтня 2019 р., м. Трускавець : у 2 т. Київ, 2019. Т. 2. С. 219–225.
3. Дяків В.О. Експериментальне моделювання дезінтеграції галопелітових мінеральних асоціацій при затопленні рудника № 2 Стебницького ДГХП «Полімінерал». *Вісник Волинського університету*. 2007. Вип. 2. Ч. 2. С. 285–291.
4. Дяків В.О., Хевпа З.З. Карстиво-суфозійне провалоутворення в межах Стебницького родовища калійних руд після повного затоплення рудника № 2 та утворення провалу № 31 у дорожньому полотні новозбудованої об'їзної дороги: причини, прогнозування та наслідки. *Проблеми геології України* : збірник наукових праць за матеріалами XIII Всеукраїнської наукової конференції, 3–5 жовтня 2022 р. Львів, 2022. С. 74–78.

5. Дяків В.О. Матеріально-балансове моделювання донасичення агресивних водопритоків у рудник № 2 Стебницького ГХП «Полімінерал» та прогноз активізації карсту. *Природа Західного Полісся та прилеглих територій* : збірник наукових праць Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки. Луцьк, 2018. № 15. С. 29–34.
6. Дяків В.О. Мінералого-геохімічні закономірності самоорганізації й еволюції карстових гідрогеологічних систем зони техногенезу соляних родовищ Карпатського регіону. *Мінералогічний збірник Львівського університету*. 2018. № 68. Вип. 1. С. 181–183.
7. Дяків В.О., Хевпа З.З. Оцінка закарстованості та стану гірничого масиву затопленого рудника № 2 Стебницького ГХП «Полімінерал» за результатами експериментального та матеріально-балансового моделювання. *Вісник Львівського університету. Серія «Геологічна»*. 2021. Вип. 35. С. 72–90. <https://doi.org/10.30970/vgl.35.08>.
8. 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 П'ятої міжнародної науково-практичної конференції: «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування» у 2 т. (8–12 жовтня 2018 р., м. Трускавець). К.: 2018. Т.2. С. 103–115.
9. Сучасний стан рудника № 2 Стебницького ГХП «Полімінерал» та його вплив на карстологічну ситуацію (за результатами моніторингових спостережень, експериментального та матеріально-балансового моделювання) / В.О. Дяків та ін. *Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування* : матеріали Сьомої міжнародної науково-практичної конференції : у 2 т., 2021 р., м. Львів. Київ, 2021. Т. 2. С. 169–181.

REFERENCES

1. Haydin, A.M. (2010). Neodynamichni protsesy na solyanykh rodovyshchakh [Geodynamic processes on salt deposits]. A.M. Haydin, V.O. Dyakiv / Materialy. Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi “Forum hirnykiv 2010”, 21–23 zhovtnya 2010 r. Dnipropetrovs’k, S. 23–41.
2. Dyakiv, V.O. (2019). Neoeekologichna kharakterystyka ta hidrokhimichnyy sklad vodnykh tovshch karstovoho ozera, shcho formuyet’sya na mistsi provalu № 27 nad rudnykom № 2 Stebnyts’koho HKHP “Polimineral” [Geoecological characteristics and hydrochemical composition of the water layers of the karst lake formed at the site of sinkhole № 27 above mine № 2 of the Stebnytskyi HPP “Polymineal”]. Materialy Shostoyi mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi: “Nadrokorystuvannya v Ukraini. Perspektyvy investuvannya”: u 2 t. (7–11 zhovtnya 2019 r., m. Truskavets’). K.: T. 2. S. 219–225.
3. Dyakiv, V.O. (2007). Eksperymental’ne modelyuvannya dezintehratsiyi halopelityvnykh mineral’nykh asotsiatsiy pry zatoplenni rudnyka № 2 Stebnyts’koho DHKHP “Polimineral” [Experimental modeling of the disintegration of halopelite mineral associations during the flooding of mine № 2 of the Stebnytskyi Polymineal mine]. Visnyk Volyn. un-tu, Vyp. 2. chast 2. S. 285–291.
4. Dyakiv, V.O. (2022). Karstovo-sufozyjne provaloutvorennia v mezhakh Stebnytskoho rodovyssha kaliynykh rud pislya povnoho zatoplennya rudnyka № 2 ta utvorennia provalu № 31 u dorozhn’omu polotni novozbudovanoyi ob’yiznoyi dorohy: prychny, prohozuvannya ta naslidky [Karst-sufosis sinkhole formation within the Stebnytskyi potash deposit after the complete flooding of mine № 2 and the formation of sinkhole № 31 in the road surface of the newly constructed bypass road: causes, forecasting, and consequences] / V. Dyakiv, Z. Khevpa / Zbirnyk naukovykh prats’ za materialamy XIII Vseukrayins’koyi naukovoyi konferentsiyi “Problemy heolohiyi Ukrainy”, 3–5 zhovtnya, L’viv, 2022. S. 74–78.

5. Dyakiv, V.O. (2018). Material'no-balansove modelyuvannya donasychnyya ahresyvnnykh vodoprytokiv u rudnyk № 2 Stebnyts'koho HKHP "Polimineral" ta prohnoz aktyvizatsiyi karstu [Material-balance modeling of the saturation of aggressive water inflows into mine № 2 of Stebnytskyi GHP "Polimineral" and the forecast of karst activation]. *Zbirnyk naukovykh prats' Skhidnoyevropeys'koho nats. un-tu im. Lesi Ukrayinky № 15. Pryroda Zakhidnoho Polissya ta prylehlykh terytoriy. Luts'k*, S. 29–34.
6. Dyakiv, V.O. (2018). Mineraloho-heokhimichni zakonomirnosti samoorhanizatsiyi y evolyutsiyi karstovykh hidroheolohichnykh system zony tekhnohenezu solyanykh rodovyshch Karpats'koho rehionu [Mineralogical and geochemical regularities of self-organization and evolution of karst hydrogeological systems of the technogenesis zone of salt deposits of the Carpathian region] / *Mineralohichnyy zbirnyk L'vivs'koho universytetu. № 68. Vyp. 1. S. 18–1183*.
7. Dyakiv, V. (2021). Otsinka zakarstovanosti ta stanu hirnychoho masyvu zatoplenoho rudnyka № 2 Stebnyts'koho HKHP "Polimineral" za rezul'tatamy eksperymental'noho ta material'no-balansovoho modelyuvannya [Assessment of the karstness and condition of the mining massif of the flooded mine № 2 of the Stebnytskyi GHP "Polimineral" based on the results of experimental and material balance modeling] / V. Dyakiv, Z. Khevpa. *Visnyk L'vivs'koho un-tu. Seriya heol. Vyp. 35. S. 72–90*. <https://doi.org/10.30970/vgl.35.08>.
8. Dyakiv, V.O. (2018). Proval 30 veresnya 2017 r. nad rudnykom № 2 Stebnyts'koho HKHP "Polimineral": prychyny, naslidky ta suchasnyy stan (za rezul'tatamy material'no-balansovoho modelyuvannya ta monitorynhovykh sposterezhen') [The failure on September 30, 2017 above mine № 2 of the Stebnytskyi HHP "Polimineral": causes, consequences and current state (based on the results of material balance modeling and monitoring observations)]. V.O. Dyakiv, A.V. Dranovs'ka, Z.Z. Khevpa. *Materialy P'yatoyi mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi: "Nadrokorystuvannya v Ukrayini. Perspektyvy investuvannya": u 2 t. (8–12 zhovtnya 2018 r., m. Truskavets')*. K. T.2. S. 103–115.
9. Dyakiv, V.O. (2021). Suchasnyy stan rudnyka № 2 Stebnyts'koho HKHP "Polimineral" ta yoho vplyv na karstolohichnu sytuatsiyu (za rezul'tatamy monitorynhovykh sposterezhen', eksperymental'noho ta material'no-balansovoho modelyuvannya) [The current state of mine № 2 of the Stebnytskyi GHP "Polimineral" and its influence on the karstological situation (based on the results of monitoring observations, experimental and material balance modeling)] / V.O. Dyakiv, Z.Z. Khevpa, A.V. Dranovs'ka. *Materialy S'omoyi mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi: "Nadrokorystuvannya v Ukrayini. Perspektyvy investuvannya", u 2 t., 2021 r., m. L'viv. K.: T. 2. S. 169–181*.

EVOLUTION OF POST-MINING CHANGES IN HYDRO- GEOLOGICAL CONDITIONS IN THE ZONE OF INFLUENCE OF THE LARGEST KARST FALLS WITHIN THE STEBNYTSKY DEPOSIT OF POTASSIUM SALTS

Vasyly Dyakiv¹, Zenon Hevpa², Oleksiy Ogirchak³

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

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

³*Stebnytsk Gymnasium № 6 Named after the Heroes of the ATO of Drohobyt'sk TG,
Hrushevskogo str., 10-a, Stebnyk, Ukraine, 82173
e-mail: oleksiyogirchak72@gmail.com*

The evolution of post-mining changes in hydrogeological conditions in the zone of influence of the largest karst sinkholes № 27 and № 30 within the Stebnytsky deposit of potash salts, the transformation of suprasalt deposits due to the activation of karst collapse phenomena, and the formation of karst lakes in their place are described. An assessment of changes in the geological environment and self-organization of the landscape is presented. It was established that before and after the formation of sinkhole № 27, which occurred on September 30, 2017, the entire layer of suprasaline deposits was drained. As a result, failure #27 was dry for several months. Only in April 2018, a small karst lake appeared here, the size of which was slowly increasing due to the presence of suprasaline deposits in the aeration zone, due to clogging, water accumulated under the condition of partial unloading through the repression cone into unflooded mine № 2. With the formation of sinkhole № 30, which occurred on March 15, 2020, also due to the presence of suprasaline sediments in the aeration zone of a much lower power, a karst lake appeared almost immediately in its place, the bottom sediments of which also ensured the preservation of the reservoir due to clogging, on the condition of partial unloading through the second repression cone and slowly increased until the complete flooding of mine № 2. After the complete flooding of mine № 2 in 2021, the repression cones disappeared, average hydrogeological conditions characteristic of the natural landscapes of the dry land of this territory were established, and the levels of karst lakes began to rise much faster. The dynamics of self-flooding of the two largest karst sinkholes within mine № 2 of the Stebnytsky deposit of potash salts and the changes in hydrogeological conditions that occur at the same time were evaluated. In particular, the temporal dynamics of changes in sinkholes № 27 and № 30 and the karst lakes formed in them were analyzed, the influence of mining and geological factors in the formation of morphology and hydrogeological conditions was revealed, and a forecast of landscape self-organization was made. The discharge of waters of the Quaternary aquifer into karst depressions is the main hydrogeological condition for raising the level in lakes. After the lakes are completely flooded, it is predicted that the primary filtration discharge of the lake at the site of failure № 27 into the lake at the site of failure № 30, and from it to the stream of Soletska Balka.

Key words: salt karst, Stebnytsky potash deposit, geological environment, evolution of changes, hydrogeological conditions, landscape self-organization, karst lake, depression watering can, repression cone.