

УДК 549.766+549.761(477.8)

**МОДЕЛЬ РОЗВИТКУ ПРИБОРТОВОГО СОЛЯНОГО
КАРСТУ І ЙОГО РОЛЬ У ФОРМУВАННІ
СТІЙКОГО ГІДРОІЗОЛЯЦІЙНОГО ПРОФІЛЮ
В ПРОЦЕСІ ЗАТОПЛЕННЯ ДОМБРОВСЬКОГО КАР'ЄРУ
(м. КАЛУШ)**

В. Дяків

*Львівський національний університет імені Івана Франка,
вул. Грушевського, 4, 79005 м. Львів, Україна
E-mail: dyakivw@yahoo.com*

Проаналізовано закономірності самозатоплення Домбровського кар'єру в межах Калуш-Голинського родовища калійних солей (Західна Україна). На підставі виконаних досліджень запропоновано модель активізації специфічного прибортового соляного карсту, визначальними чинниками якої є приповерхнева наземна та приповерхнева підводна деформація бортів. Першим важливим наслідком розвитку прибортового карсту є зменшення інтенсивності взаємодії соляних мінералів з водою, яке призвело до того, що за сім років мінералізація води на поверхні затоплюваного кар'єру зменшилася зі 165 до 36 г/л. Другим наслідком є формування стійкого гідроізоляційного прошарку, який унеможливує розчинення соляних бортів. Це привело до формування гравітаційно-диференційованого озера, вода якого, згідно з прогнозами, у верхній 17-метровій водній товщі повинна мати мінералізацію до 2–3 г/л.

Ключові слова: калійні солі, соляно-глинисті породи, розчинення, дезінтеграція, прибортовий соляний карст, моделювання, Домбровський кар'єр, Західна Україна.

Специфічною особливістю Калуш-Голинського родовища є моноклінальне, майже горизонтальне залягання калійних солей у межах зовнішньої зони Передкарпатського прогину з близько-поверхневим виходом покладів на ділянці Домброве (до 16 м від денної поверхні). Значні запаси калійних руд на цій ділянці та невелика глибина залягання калійних солей були тими чинниками, завдяки яким у 1950–1960-ті роки запроектували розробку родовища кар'єрним способом. Тоді Домбровський кар'єр був єдиним у світі кар'єром, де розробляли соляні поклади за умов гумідного клімату (переважання атмосферних опадів над їхнім випаровуванням).

Розробка калійних покладів відкритим способом зумовила низку гідрогеологічних та геоecологічних проблем, які доводилось вирішувати: відведення руслу р. Сивка за контур кар'єру через штучні канали; осушення четвертинного водоносного горизонту облаштуванням кільцевої дренажної траншеї навколо кар'єру; постійне збирання й відкачування атмосферних опадів, які в разі взає-

модії з солями перетворювались у насичену ропу; гідроізоляція берм і неробочих бортів кар'єру; постійна боротьба з соляним карстом та ерозією.

Критичними ці проблеми стали протягом двох останніх десятиліть, зокрема, після катастрофічної повені у липні 2008 р., коли почався невідворотний водопритік у Домбровський кар'єр. Були численні спроби врятувати кар'єр, оскільки в ньому ще залишилось понад 32 млн т калійної руди, яку можна видобути. Та через неналежне фінансування справу до кінця не довели, і нині фактично відбувається самозатоплення Домбровського кар'єру [9]. Осушення кар'єру практично неможливе, адже він заповнений розсолами, скидати які в гідромережу не можна.

Техногенно-змінене геологічне середовище соленосних відкладів за умов взаємодії з агресивними прісними водами – це складна динамічна система, поведінку якої важко передбачити. Надходження води в соляний кар'єр та його затоплення супроводжується розвитком низки екзогенних геологічних процесів, насамперед таких цікавих феноменів, як дезінтеграція соляно-глинистих відкладів і прибортовий соляний карст. Протягом останніх десяти років ми простежували ці явища в процесі моніторингу за природних умов, детально їх досліджували, виконували відповідне моделювання.

Результатом досліджень стала розробка цілісної просторово-часової моделі розвитку прибортового карсту, яка дає змогу прогнозувати динаміку розвитку екзогенних процесів, оцінювати вплив постмайнінгових змін на формування хімічного складу води в майбутньому озері на місці Домбровського кар'єру (чи стане воно джерелом засолення четвертинного водоносного горизонту) та визначати, що невідкладно треба зробити для запобігання екологічним негараздам. Це має важливе геоекологічне значення, що й зумовлює актуальність виконаних досліджень.

Загальна характеристика Домбровського кар'єру. У геологічній будові Калуш-Голинського родовища виділяють нижній автохтонний теригенно-осадовий комплекс юрського і крейдового віку, на який по тектонічному розлому насунутий верхній алохтонний комплекс моласових відкладів міоцену, у яких і містяться розвідані калійні руди. На Домбровській ділянці пласти калійних солей нижньобалицької світи виходять під четвертинні відклади на глибині від 16 до 175 м. Саме тому протягом 1967–2005 рр. тут діяв кар'єр. Розкривні породи в контурі Домбровського кар'єру розробляли чотирма уступами заввишки до 10 м з організацією селективного виймання ґрунтового-рослинного шару, суглинків, галечників і гіпсоглинистої “шапки”, а скельні розкривні породи та рудний поклад розробляли уступами заввишки до 15 м буропідривною дезінтеграцією, після чого їх вивозили автотранспортом по кар'єрній дорозі на два відвали та збагачувальну фабрику.

Для забезпечення сприятливих гідрогеологічних умов природне русло Сивки відвели з кар'єрного поля через штучне русло (канал) та облаштували кільцеву дренажну траншею для перехоплення вод четвертинного водоносного горизонту. Умовно “чиста” вода з цієї траншеї потрапляла в Сивку через шостий і сьомий скиди. Атмосферні опади, які випадали на площу кар'єру, перекачували в акумулювальні ємності, а звідти подавали на збагачувальну фабрику або скидали в шахту через поглинальну свердловину (рис. 1).

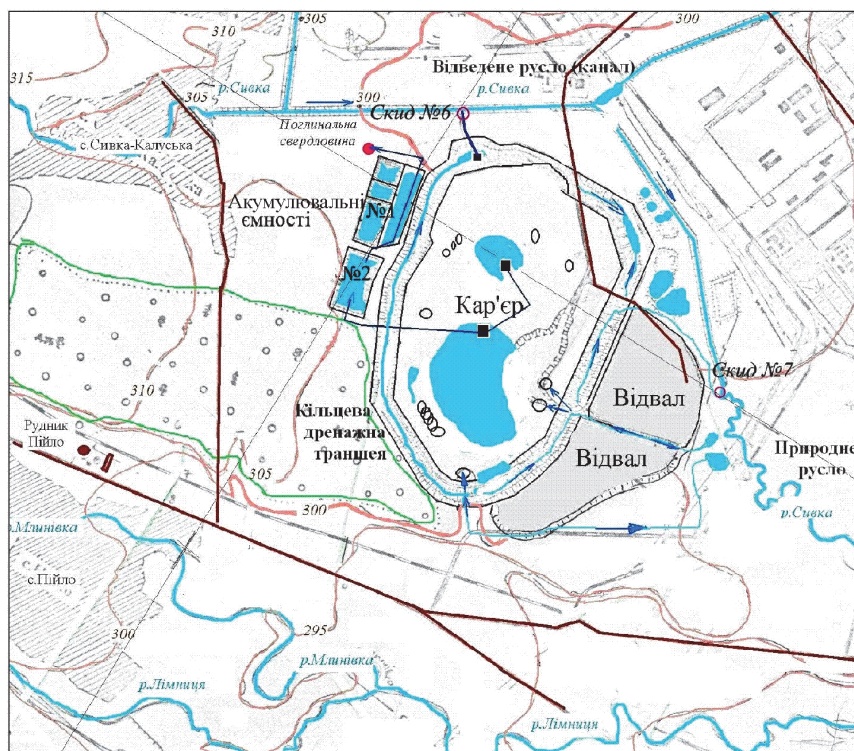


Рис. 1. Просторове розташування Домбровського кар'єру та об'єктів, які забезпечували його функціонування.

Об'єм Домбровського кар'єру – 52,5 млн м³. З південної частини видобуто 17,9 млн т руди і 20 млн м³ розкривних порід, у північній частині видобуто 14,6 млн т руди і залишилось 32 млн т. Глибина південної частини – 127 м, північної – 63 м. Генеральний кут укосу – 65°.

Головними рудними мінералами калійних покладів Калуш-Голинського родовища є каїніт і лангбейніт за високого вмісту галіту (до 35 %). Другорядні мінерали – полігаліт, епсоміт, кізерит, сільвін, шеніт та ін. Специфічною особливістю калійних покладів Передкарпаття загалом є високий вміст теригенних і глинистих мінералів (кварц, гідрослюда, хлорит) – до 17 %.

Прояви і наслідки карстових процесів. Під карстом розуміють процес розчинення гірських порід, які містять водорозчинні мінерали, що призводить до утворення порожнин та деформації порід і, як наслідок, – до формування характерного карстового рельєфу. Карст, під час якого розчиняються соляні мінерали, називають соляним [1, 4]. Карст, який відбувається у бортах діючого чи затоплюваного кар'єру, прийнято називати прибортовим.

Найважливішою передумовою розвитку прибортового соляного карсту є наявність у геологічному розрізі моласової формації калійних покладів та висока розчинність соляних мінералів. Найбільш розчинними соляними мінералами є карналіт, сільвін, галіт і шеніт. Найпоширеніші мінерали калійних родовищ

Передкарпаття – каїніт і лангбейніт – хоч і розчиняються, однак не надто швидко. За експериментальними даними Я. Семчука [8], швидкість розчинення каїнітової породи в прісній воді становить 19 м/рік; А. Кривоусов унаслідок великомасштабних натурних досліджень визначив середню швидкість розчинення вертикального відслонення каїнітової руди 29,7 м/рік [5]; за даними, що їх отримала О. Палійчук [6, 7], швидкість розчинення соляних порід в укосі становить близько 35 м/рік.

Другою передумовою розвитку соляного карсту є рух підземних вод у місцях залягання соленосних відкладів та кут нахилу поверхні вилюговування до потоку агресивних вод. Швидкість розчинення солей залежить від положення поверхні, що розчиняється (рис. 2) [3]. На похилій поверхні солі утворюється шар насиченого розчину, який під впливом гравітації стікає вниз. Зі стелини розчин стікає у вигляді струменів, що призводить до турбулізації середовища.

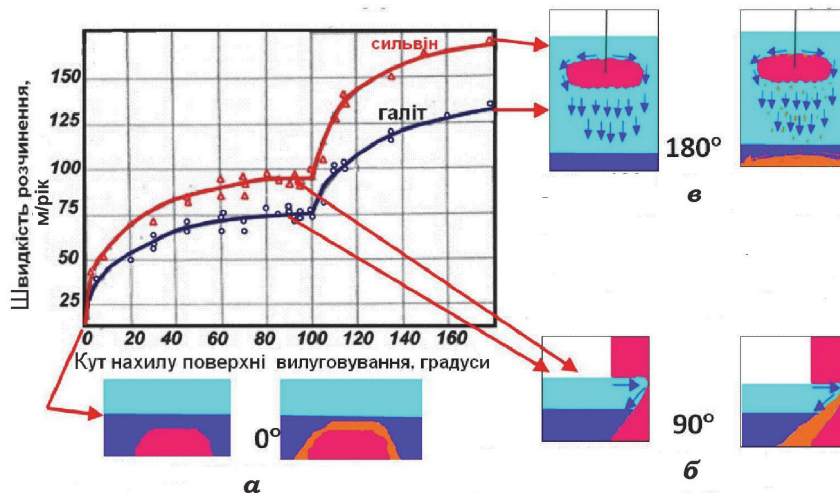


Рис. 2. Залежність швидкості розчинення сільвіну й галіту від нахилу поверхні розчинення за $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$:

а – за кута 0° (дно печери або кар'єру) соляний карст швидко припиняється завдяки насиченню розчину та гідроізоляції поверхні солі нерозчинним осадом; *б* – за кута 90° (стінка печери, борт кар'єру) соляний карст розвивається в поверхневій частині ненасиченого розчину та суттєво обмежений на гідроізолюваних схилах поверхні солі; *в* – за кута 180° (стелина печери) соляний карст триває до цілковитого розчинення солі завдяки постійному гравітаційному відведенню насиченого розчину та неможливості формування гідроізоляційного прошарку нерозчинного осаду на поверхні солі через його обвалювання.

З рис. 2 випливає, що в разі затоплення гірничої виробки її стелина розчиняється приблизно вдвічі швидше, ніж бічні частини. Швидкість розчинення вертикальної стінки кам'яної солі в прісній воді становить 70 м/рік, а стелини – до 120 м/рік. Підшва виробок майже не розчиняється, оскільки на її поверхні нагромаджується насичений розчин.

Ще однією важливою особливістю процесу розчинення калійних руд є наявність у них нерозчинних включень. Завдяки неоднорідному складові руда розчиняється вздовж прошарків нерозчинних мінералів і руйнується. Суміш важко-

розчинних лангбейніту, кізериту й нерозчинних домішок осипається з вертикальних стінок і стелини та нагромаджується внизу, захищаючи нижню частину схилу від подальшого розчинення.

З 2005 р. у Домбровському кар'єрі фіксують водопритік із різних джерел і місць, завдяки чому почав розвиватися прибортовий соляний карст, який особливо активізувався після паводку в липні 2008 р. Головні джерела затоплення кар'єру – це атмосферні опади (70–80 %) та водопритік ґрунтових вод четвертинного водоносного горизонту (20–30 %). Ґрунтові води височують в місцях, де дренажна траншея перерізає старе русло Сивки та її приток, які було відведено з кар'єрного поля каналом р. Сивка.

На підставі виконаних досліджень запропоновано модель розвитку прибортового соляного карсту в процесі затоплення Домбровського кар'єру. Головні його прояви такі:

1) близькоповерхнева наземна деформація бортів Домбровського кар'єру, унаслідок чого з посиленням водопритоку на відстані від 10 до 50 м від краю борту кар'єру формуються карстові форми рельєфу (понори, кари, бедленд, колодязі, канали, лійки, провали, цирки), а також конуси винесення нерозчинного матеріалу на ділянках водопритоку (рис. 3, 4);



Рис. 3. Ланцюжок дрібних прибережних карстових лійок уздовж північно-східного борту Домбровського кар'єру навесні 2008 р.



Рис. 4. Карстовий цирк – з'єднані між собою карстові колодязі у соленосній товщі західного борту Домбровського кар'єру.

2) близькоповерхнева підводна деформація бортів Домбровського кар'єру, унаслідок чого на відстані від 0 до 10 м від краю борту кар'єру з підняттям рівня затоплення відбувається таке:

- формуються “підрізані” борти, підводні ніші вилуговування та надводні консолі бортів солевмісних порід;
- утворюється шорстка поверхня вилуговування солевмісних порід;
- у надводних консолях бортів солевмісних порід з'являються заколи та тріщини;
- відбувається первинне обвалювання надводних консолей бортів солевмісних порід в агресивне середовище поверхневої водної товщі, їхнє дорозчинення й самоізоляція (рис. 5);

– у підводній частині первинних надводних консолей бортів формується пухка гідроізолювальна призма нерозчинного осаду (рис. 6);



Рис. 5. Первинне обвалювання надводних консолей бортів солевмісних порід в агресивне середовище поверхневої водної товщі, їхнє дорозчинення та самоізоляція (природна і змодельована ситуація).

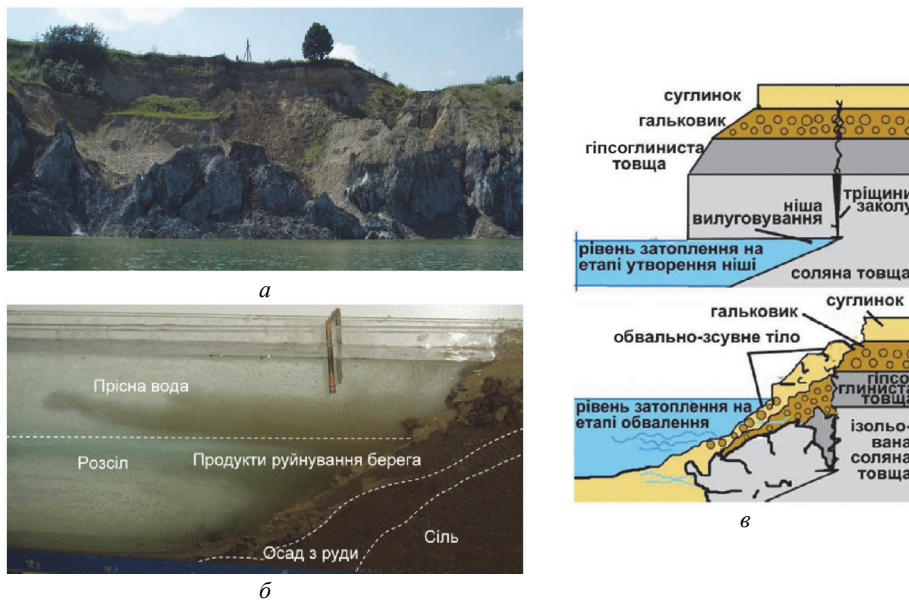


Рис. 6. Формування пухкої гідроізолювальної призми нерозчинного осаду у підводній частині первинних надводних консолей північно-західного борту (а), фізична модель (б) та принципова схема процесу (в).

– утворюється ущільнена гідроізолювальна призма з нерозчиненого осаду зі стійким зчепленням із шорсткою поверхнею вилуговування.

Виконані дослідження засвідчили, що в разі взаємодії агресивних розчинів з легкорозчинними мінералами ці мінерали “захищає” специфічний динамічний механізм, який ми назвали мінералогічним протектором дезінтеграції соляно-глинистих порід у процесі мокрої консервації гірничих виробок калійних родовищ Передкарпаття. Він відіграє провідну роль у блокуванні руйнівних процесів, формуванні стійкого профілю та хімічного складу.

Процес підрізання нішею вилуговування свіжообваленого борту кар’єру починається з первинного контакту агресивних вод з соляними мінералами. Завдяки їхньому розчиненню, підвищенню мінералізації води, гравітаційному руху більш мінералізованих вод у глибші водні товщі, конвективному надходженню нових порцій агресивних вод ніша вилуговування у борті кар’єру заглиблюється від первинних 1–2 м до 5–6 м та аж до повної втрати стійкості надводної консолі соляно-глинистих відкладів і калійних руд.

Під час взаємодії агресивних вод з соляно-глинистими породами формується шорстка поверхня вилуговування, що відбувається внаслідок вибіркового розчинення галіту, збереження скелету лангбейніту, селективного вилуговування легкорозчинних мінералів та дезінтеграції глинистих мінералів.

Наслідками розчинення солевмісних порід до моменту втрати стійкості є формування заколів і тріщин у надводних консолях бортів солевмісних порід на відстані від нуля до 10 м від краю борту кар’єру (що відбувається внаслідок підняття рівня затоплення), обвалювання надводних консолей бортів, їхнє до-розчинення й самоізоляція підводного схилу (див. рис. 5).

Наявність у близькоповерхневих ділянках геологічного розрізу потужних піщаних верств і значна кількість опадів зумовлюють найсприятливіші умови для додаткової самоізоляції соленосних товщ. Її прояви є по всьому контуру Домбровського кар’єру, однак найінтенсивніше вони виявлені в північно-західному борті, де протягом десяти років можна було чітко простежувати формування пухкої гідроізолювальної призми нерозчинного осаду в підводній частині первинних надводних консолей бортів – подібно до того, що спостерігали на фізичних моделях у процесі експериментального моделювання, на підставі чого й запропоновано принципову схему процесу (див. рис. 6).

Наслідком вилуговування легкорозчинних мінералів, дезінтеграції та осадження глинистих мінералів є зародження й поглиблення ніші вилуговування із “зависанням” над рівнем водного дзеркала консолі соленосних товщ. Поглиблення ніші вилуговування зумовлює посилення гравітаційного навантаження на “завислу” консоль, що в певний момент спричиняє зародження субвертикальних заколів. Ці заколи порушують стійкість бортів та призводять до їхнього обвалення з різною інтенсивністю. Усе це чітко простежено як у бортах Домбровського кар’єру, так і особливо наочно в його експериментальній моделі. На цій підставі нижче від ніші вилуговування виділено зону транзиту глинистого матеріалу та зону самоізоляції солевмісних порід глинистим прошарком із врівноваженою слабко нахиленою поверхнею (рис. 7). Завдяки цьому нерозчинний теригенний глинистий матеріал під час осідання на шорстку поверхню підводного схилу утворює підпірну призму під кутом природного укусу.



Рис. 7. Розріз ущільненої гідроізолювальної призми з нерозчиненого осаду зі стійким зчепленням із шорсткою поверхнею вилуговування внаслідок армування та гравітаційного ущільнення вторинними обвалами осаджених мінералів (експериментальна модель).

Найважливішим наслідком фізико-хімічної й механічної дезінтеграції соляно-глинистих мінеральних асоціацій є їхня самоізоляція та консолідація гідроізолювального прошарку (коли нерозчинний осад утворив стійкий механічний бар'єр між водною товщею та корінними соленосними відкладами).

Унаслідок розчинення соляних мінералів, обвалів, зсувів, осадження тонкодисперсних глинистих мінералів у Домбровському кар'єрі сформувались зона деформацій соляних порід та зона акумулювання гідроізоляційного прошарку; їхня загальна потужність перевищує 20 м (рис. 8).

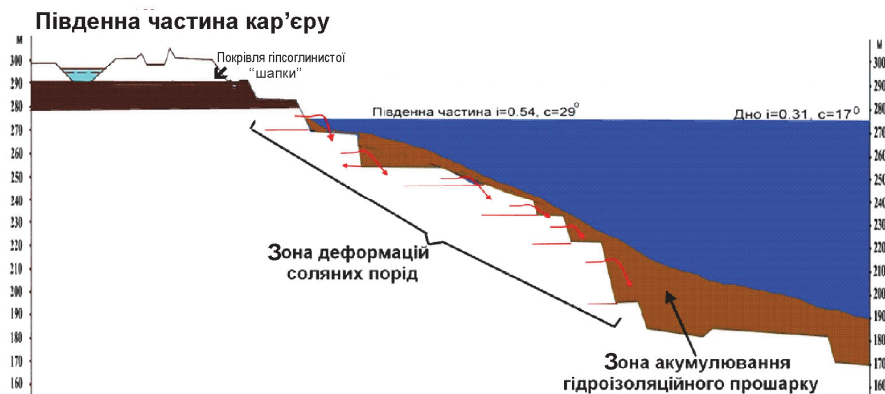


Рис. 8. Модель формування стійкого гідроізоляційного профілю у південній частині Домбровського кар'єру.

Важливим наслідком розвитку прибортового карсту в процесі затоплення Домбровського кар'єру є формування стійкого гідроізолювального прошарку, який унеможливує розчинення соляних бортів та зумовив формування гравітаційно-диференційованого озера (рис. 9). За прогнозами А. Гайдіна та В. Дяківа [2], вода цього озера у верхній 17-метровій водній товщі повинна мати мінералізацію до 2–3 г/л.

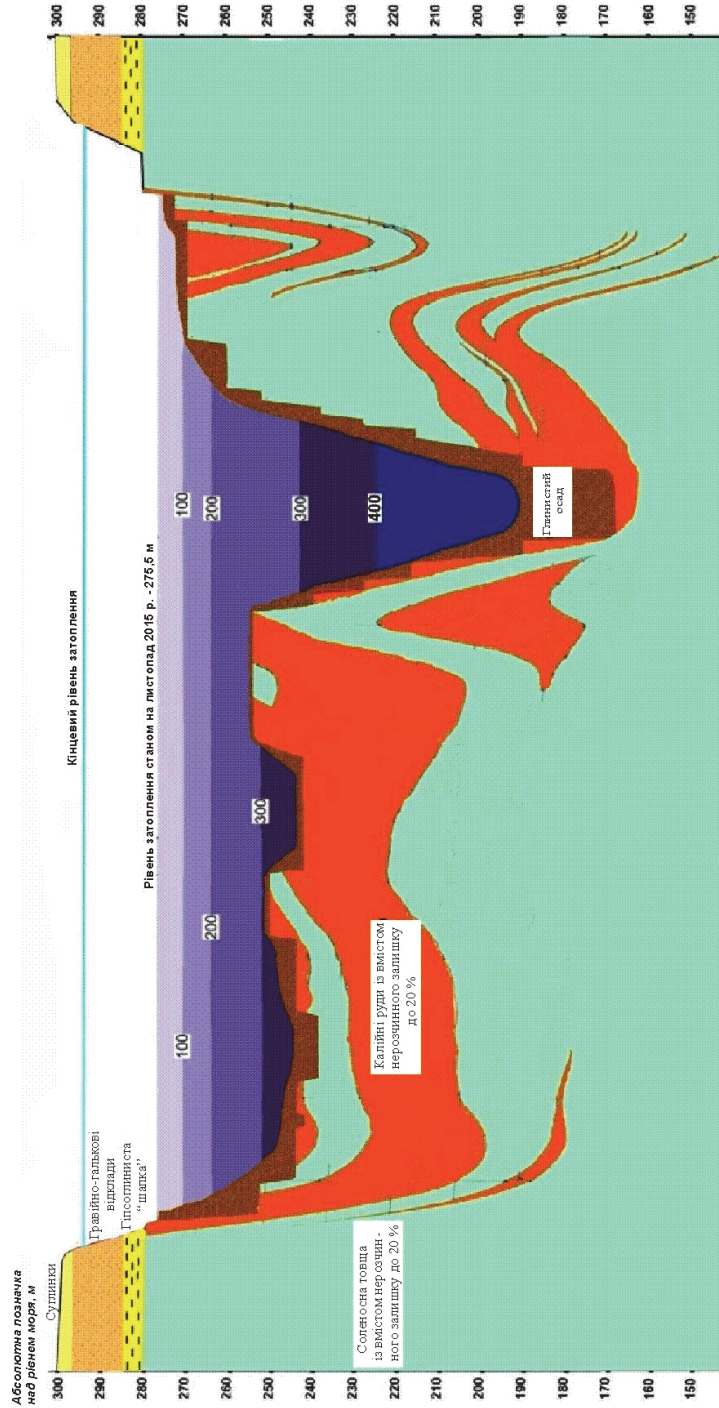


Рис. 9. Сучасний гідрогеохімічний розріз водної товщі Домбровського кар'єру.

Отже, на підставі виконаних досліджень запропоновано модель активізації специфічного прибортового соляного карсту, визначальними чинниками якої є близькоповерхнева наземна та близькоповерхнева підводна деформація бортів Домбровського кар'єру.

Важливими наслідками розвитку прибортового карсту в процесі затоплення Домбровського кар'єру є зменшення інтенсивності взаємодії соляних мінералів з водою, яке призвело до того, що за сім років мінералізація води на поверхні затоплюваного кар'єру зменшилася з 165 до 36 г/л, та формування стійкого гідроізолювального прошарку, який унеможливує розчинення соляних бортів і зумовив формування гравітаційно-диференційованого озера, мінералізація води якого, за нашими прогнозами, у верхній 17-метровій водній товщі повинна бути на рівні 2–3 г/л.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Апродов В. А. Об основных принципах классификации карстовых процессов / В. А. Апродов // Материалы комиссии по изучению геологии и географии карста : [Информ. сб.]. – М. : Изд-во АН СССР, 1960. – № 1. – С. 67–70.
2. Гайдін А. М. Умови формування прісноводної товщі в озері на місці соляного кар'єру / А. М. Гайдін, В. О. Дяків // Природа Західного Полісся та прилеглих територій : зб. наук. праць Волин. нац. ун-ту імені Лесі Українки. – 2010. – № 7. – С. 50–64.
3. Дудко П. М. Подземное выщелачивание солей / П. М. Дудко. – М. : Недра, 1972. – 160 с.
4. Короткевич Г. В. Соляной карст / Г. В. Короткевич. – Л. : Недра, 1970. – 256 с.
5. Кривоусов А. Я. Результаты наблюдений за процессом выщелачивания и разрушения соляных пород в уступах карьера / А. Я. Кривоусов. – Л. : ВНИИГ, 1974. – 17 с.
6. Палійчук О. В. Аналітичні дослідження процесу розчинення і дифузії солей в гірничих виробках / О. В. Палійчук // Наук. вісн. ІФНТУНГ. – 2008. – № 2 (18). – С. 34–36.
7. Палійчук О. В. Експериментальні дослідження розчинення соляних уступів Домбровського кар'єру шляхом зрошування // Наук. вісн. ІФНТУНГ. – 2008. – № 1 (17). – С. 164–170.
8. Семчук Я. М. Наукові та методичні основи охорони геологічного середовища в районах розробки калійних родовищ (на прикладі Передкарпаття) : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук / Семчук Ярослав Михайлович. – Івано-Франківськ, 1995. – 46 с.
9. Техногенна ситуація в районі Калуського промислового вузла / Є. І. Крижанівський, Е. Д. Кузьменко, М. В. Палійчук, Б. Т. Бараненко // Наук. вісн. ІФНТУНГ. – 2008. – № 2 (18). – С. 3–9.

*Стаття: надійшла до редакції 20.07.2016
прийнята до друку 02.11.2016*

**MODEL OF THE NEAR-BOARD SALT KARST
DEVELOPMENT AND ITS ROLE IN THE FORMATION
OF RESISTANT WATERPROOFING PROFILE
IN THE PROCESS OF DOMBROWSKI QUARRY FLOODING
(THE CITY OF KALUSH)**

V. Dyakiv

*Ivan Franko National University of Lviv,
4, Hrushevskiyi St., 79005 Lviv, Ukraine
E-mail: dyakivw@yahoo.com*

In the geological structure of Kalush-Holynske deposit, one can distinguish the lower autochthonous terrigenous-sedimentary complex (*J, C*) and the upper allochthonous complex of Miocene molassa sediments which contains explored potash ore. In Dombrowski area, the potash salt strata underlay the Quaternary sediments at a depth of 16–175 m. That is why the quarry functioned here during 1967–2005. Overlying rocks in the contour of Dombrowski quarry have been worked by four ledges up to 10 m (soil and topsoil, loam, gravel and gypsum-clay “cap” have been selectively removed), and solid rocks and ore bed – by scarps up to 15 m (drilling and blasting disintegration), after which they were taken to two dumps and concentrating factory.

The main ore minerals of the potash deposit are kainite and langbeinite; high (up to 35 %) is the content of halite. Polyhalite, epsomite, kieserite, sylvite, schoenite are of subordinate value. Specific feature of the potash deposits of the whole Precarpathians is the high content of terrigenous and clay minerals (quartz, hydromica, chlorite) – up to 17 %.

Karst processes are manifested in the following: karst landforms (swallow holes, sink holes, the Badlands, wells, channels, cones, dips, circuses etc.); alluvial fans of insoluble material in areas of water inflow; the “cut” sides, underwater niches of leaching and surface of the consoles of salt rocks sides; rough leaching surface of salt rocks; cracks in the surface of consoles of salt rocks sides; primary downfalls of the surface consoles of salt rocks sides in the aggressive environment of the near-surface water column, their dissolution and self-isolation; the formation of friable hydro-insulating prism of insoluble precipitate in the underwater part of the primary surface consoles of the boards; the formation of consolidated hydro-insulating prism from insoluble precipitate with a steady grip with a rough leaching surface.

The model of activation of specific near-board salt karst has been proposed on the basis of the research. Its determining factors are near-surface terrestrial and shallow submarine deformation of the boards. The first important result of the karst development is the decrease of intensity of salt minerals–water interaction. This led to the fact that for seven years the water salinity on the surface of flooded quarry has decreased from 165 to 36 g/l. The second consequence is the formation of a stable hydro-insulating layer, due to which the dissolution of salt boards is impossible. This led to the formation of a gravity-graded lake, the water of which, according to forecasts, in the upper 17-meter water column should have a salinity of 2–3 g/l.

Key words: potassium salts, salt-clay rocks, dissolution, disintegration, near-side salt karst, modelling, Dombrowski quarry, Western Ukraine.