

КАРСТОВІ ОЗЕРА ТА ЇХ ТРАНСФОРМАЦІЯ В ТОРФОВИЩА ЯК ПРИРОДНІ КОМПЕНСАТОРНІ МЕХАНІЗМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ ЛАНДШАФТУ В МЕЖАХ СОЛОТВИНСЬКОГО РОДОВИЩА

Василь Дяків¹, Володимир Козловський², Павло Макарук³,
Наталія Романюк¹, Любомир Шеремета¹

¹Львівський національний університет імені Івана Франка, вул. Грушевського, 4, Львів, Україна, 79005

e-mail: dyakivw@yahoo.com; nataliya.romanyuk@lnu.edu.ua; lubomirseremeta@gmail.com

²Інститут екології Карпат НАН України, вул. Козельницька, 4, Львів, Україна, 79026

³ВД «Солерудліквідація», вул. Шахтарська, 36, смт. Солотвино, Тячівський р-н, Закарпатська обл., Україна, 90575

Описано еволюцію постмайнінгових змін торфовища, карстового провалу та карстового озера «Чорний Мочар» у межах Солотвинського родовища кам'яної солі, які є одними з найбільш цікавих природних утворень. Історичні та сучасні карстові озера на ділянках поширення соленосних відкладів мають вагомe як загальнонаукове, так і прикладне значення як особливо цінні індикаторні об'єкти постійного моніторингу в умовах розробки соляних покладів.

Наявність у геологічній будові легкорозчинних соляних формацій, їх локалізація в зоні активного водообміну, розчинення соляних мінералів з утворенням підземних порожнин, прова-лоутворення над природними чи техногенними пустотами, заповнення підземними водами та функ-ціонування певний історичний (геологічний) період як гідрологічних об'єктів – карстових озер на прикладі урочища «Чорний Мочар» має вагомe значення для розуміння причинно-наслідкових зв'язків та прогнозування як стану геологічного середовища загалом, так і стану довкілля зокрема.

Надзвичайно важливими аспектами еволюції карстових озер є їх природна еволюція в тор-фовища чи техногенно посилені процеси евтрофікації, замулення, заболочення з перспективою трансформації в торфові поклади при збереженні виявлених тенденцій у майбутньому. Наявність торфу в геологічних розрізах давніх карстових провалів є однозначним доказом наявності в них озер та їх змін в умовах сповільненого водообміну і, як наслідок, накопичення біогенних елементів.

Доведено, що наявність торфовищ над соляними відкладами, що близько залягають до поверхні, є ознакою порушеності геологічного середовища, яке тривалий історичний (геологічний) період було стабілізоване, однак при зміні гірничо-геологічних, інженерно-геологічних та гідроге-ологічних умов потенційно знову може бути порушене. З огляду на це, такі ділянки можна вважати індикаторними, найбільш важливими для моніторингу за розвитком соляного карсту на всіх етапах розвитку: від утворення провалу, заповнення виїмки водою, функціонування як екосистеми озера із чистою водою до водної товщі, що зазнає евтрофікації з трансформацією в болото.

Особливо актуальний моніторинг за такими об'єктами є в умовах наявності соляних копа-лень як потенційних чинників порушення гідрогеологічної рівноваги, коли будь-які, навіть наймен-ші зміни, можуть бути важливими індикаторами активізації соляного карсту.

Саме такий випадок двох карстових озер: історичного (геологічного), про який свідчать описані нами торфові відклади, та сучасного – водойми, що утворилася після провалоутворення у 2007–2009 роках, ми розглядаємо на прикладі ділянки Чорний Мочар у межах Солотвинського родовища кам'яної солі.

Ключові слова: соляний карст, Солотвинське родовище кам'яної солі, геологічне середови-ще, еволюція змін, гідрогеологічні умови, самоорганізація ландшафту, карстове озеро, евтрофікація, замулення, заболочення, тофовище.

Постановка проблеми. Одними з найбільш цікавих природних утворень є історичні та сучасну карстові озера на ділянках поширення соленосних відкладів у різних регіонах світу. Для їх утворення необхідно кілька передумов: наявність у геологічній будові легкорозчинних соляних формацій, їх локалізація в зоні активного водообміну, розчинення соляних мінералів з утворенням підземних порожнин, провалоутворення над природними чи техногенними пустотами, заповнення підземними водами та функціонування певний історичний (геологічний) період як гідрологічних об'єктів – карстових озер.

Не менш важливими аспектами еволюції карстових озер є їх природна еволюція в торфовища чи техногенно посилені процеси евтрофікації, замулення, заболочення з перспективою трансформації в торфові поклади при збереженні виявлених тенденцій у майбутньому. Торф у геологічних розрізах давніх карстових провалів є однозначним доказом наявності в них озер та їхніх змін в умовах сповільненого водообміну і, як наслідок, накопичення біогенних елементів.

Наявність торфовищ над соляними відкладами, що близько залягають до поверхні, є ознакою порушеності геологічного середовища, яке тривалий історичний (геологічний) період було стабілізоване, однак при зміні гірничо-геологічних, інженерно-геологічних та гідрогеологічних умов, потенційно знову може бути порушене. З огляду на це, такі ділянки можна вважати індикаторними, найбільш важливими для моніторингу за розвитком соляного карсту на всіх етапах розвитку: утворення провалу, заповнення виїмки водою, функціонування як екосистеми озера із чистою водою та водної товщі, що зазнає евтрофікації з трансформацією в болото.

Особливо актуальний моніторинг за такими об'єктами є в умовах наявності соляних копалень як потенційних чинників порушення гідрогеологічної рівноваги, і будь-які, навіть найменші зміни, можуть бути важливими індикаторами активізації соляного карсту.

Саме такий випадок двох карстових озер: історичного (геологічного), про який свідчать описані нами торфові відклади, та сучасного – водойми, що утворилася після провалоутворення у 2007–2009 роках, ми розглядаємо на прикладі ділянки Чорний Мочар у межах Солотвинського родовища кам'яної солі.

Основною проблемою досліджуваної території є складна геологічна будова верхньої частини розрізу, що характеризується наявністю торфових покладів та відсутністю гідроізолюючого прошарку – палагу, між соляними покладами та четвертинними відкладами. Ця особливість геологічної структури становить одну з критичних геотехнічних проблем Солотвинського соляного купола, що зумовлює його нерівноважний стан відносно гідрогеологічних умов регіону. Історично ця геологічна нестабільність призвела до розвитку карстових процесів, що супроводжувались утворенням карстового провалу, карстового озера та торфовища. Антропогенний вплив у вигляді гірничих виробок шахти № 9 значно ускладнив гідрогеологічну ситуацію, сприявши відновленню водопритоків у копальню та повторній активізації соляного карсту в період 2007–2009 років. Результатом цих процесів стало формування сучасного карстового озера Чорний Мочар в умовах затоплення гірничих виробок. З огляду на перспективи осушення та відновлення видобувних робіт, карстове озеро потребує організації системи постійного моніторингу як критично важливий гідрологічний об'єкт, що може впливати на стабільність гірничих виробок та безпеку майбутніх розробок.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Методичним аспектам моделювання, геодинамічним процесам на соляних родовищах, насамперед соляному карсту в межах Солотвинського родовища, процесам формування насичених соляних розчинів, присвячено публікації В. О. Дяківа, А. М. Гайдіна, В. І. Козловського, П. М. Білоніжки та інших [1; 4–6; 8–14].

Мета статті – оцінити зміни інженерно-геологічних, гідрогеологічних та геоекологічних умов, закарстованості та стану гірничого масиву в зоні впливу торфовища, карстового провалу та карстового озера «Чорний Мочар» у межах гірничого відводу затопленої шахти № 9 Солотвинського родовища кам'яної солі – за результатами багаторічних польових спостережень, аналізу змін геологічного середовища та екологічного стану територій і акваторій.

Методика досліджень – вивчення фонових матеріалів, польові моніторингові спостереження в зоні впливу гірничих виробок шахти № 9, за рівнями затоплення копальні, рівнями води в карстовому озері, аналіз зібраних даних, відображення гірничо-геологічних, інженерно-геологічних гідрогеологічних умов на картах та розрізах, інтерпретація отриманих результатів і встановлення еволюції (закономірностей) постмайнінгових змін торфовища, карстового провалу та карстового озера «Чорний Мочар» у межах Солотвинського родовища кам'яної солі.

Виклад основного матеріалу. Солотвинське родовище кам'яної солі розташоване в південно-східній частині Тячівського району Закарпатської області та приурочене до Верхньотисенської (Солотвинської) западини Закарпатського прогину. Приповерхнєве залягання кам'яної солі приурочене до соляно-купольної структури – соляного штоку, що утворився внаслідок постседиментаційного галокінезу – тиску на соляні породи теригенних товщ, що залягають вище, їх перехід у пластично-текучий стан та видавлювання в приповерхнєву ділянку розрізу. При цьому переміщення пластично-текучих соляних мас відбувалося з ділянки підвищеного геостатичного тиску до його понижених значень.

Згідне залягання вищезазначених стратиграфічних підрозділів порушене процесами соляної тектоніки, вилуговування солей та їх елювіальною самоізоляцією. Процеси соляної тектоніки зумовлені перекриттям соленосної товщі теригенними відкладами, дисгармонійними дислокаціями, напруженнями та переходом соляних порід у квазітекучий стан. Інтенсивне зростання Солотвинської солянокупольної структури відбувалося від сармату до голоцену та призвело до сучасного вигляду родовища на геологічній карті й розрізі, так і до розвитку природного соляного карсту, зокрема на ділянці «Чорний Мочар» (рис. 1).

В основі геологічної будови Солотвинського родовища залягають гіпсоангідриди, туфи, туфіти з прошарками вапняків і мергелів Новоселицької світи. Ці відклади перекриваються товщею сірих і темно-сірих аргілітоподібних глин, алевролітів, пісковиків і кам'яної солі верхньотереблінської світи та надсольовим комплексом теригенних відкладів бадену (солотвинська і тересвинська світи) і нижнього сармату (басхевська світа) [2], що перекриті утвореннями четвертинного віку (рис. 1).

У тектонічному відношенні Солотвинське родовище становить собою шток солянодіапірової структури. Під четвертинним відкладами шток має в плані грушоподібну форму завдовжки 1880 м і завширшки 760 м. Довга вісь орієнтована в напрямку північний-захід – південний-схід. Соляний шток має асиметричну будову. Південно-західне крило круте (60 – 80°), а північно-східне – пологіше (до 60°). У північно-західному й південно-східному напрямках він занурюється під кутом 15–30°. Такі кути свідчать про те, що контакт соляного штоку з боковими флішодібними породами тектонічний [3]. Кути падіння змінюються й залежно від відстані від контуру виходу солі під четвертинні відклади: поблизу круті, по мірі віддалення пологіші. Поверхня штоку на рівні ерозійного зрізу має грушоподібну форму, місцями нерівні контури, нахилена в північно-західному напрямку (див. рис. 1).

На рівні ерозійного зрізу соляна товща перекрита елювіальними глинами (місцева назва «палаг»), що накопичилися в процесі вилуговування кам'яної солі (рис. 2).

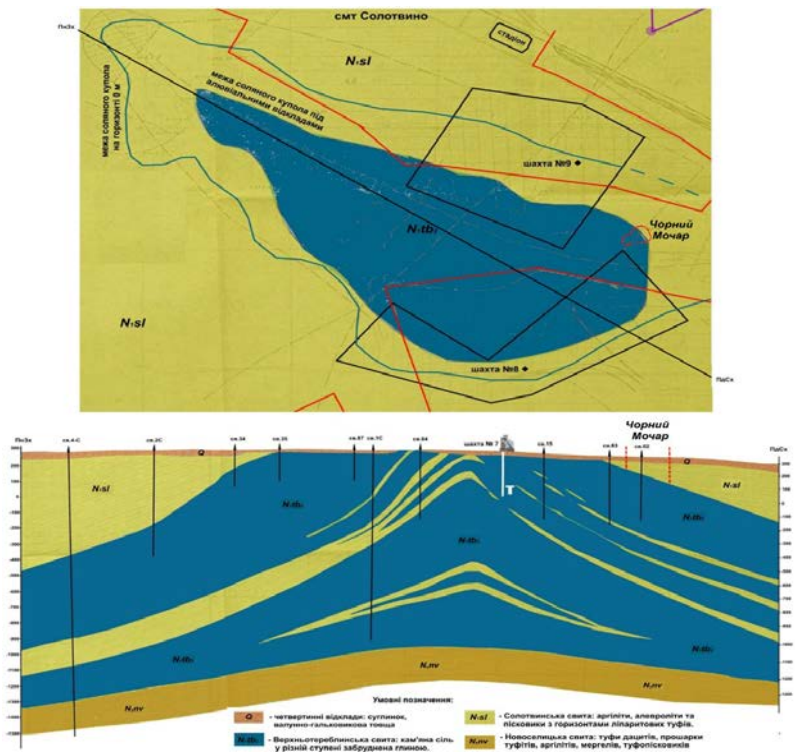


Рис. 1. Геологічна карта та розріз Солотвинського родовища кам'яної солі з локацією урочища «Чорний Мочар» на них



Рис. 2. Нерівність контакту кам'яної солі та підшови палагу зі збільшенням потужності глинистого прошарку зліва та вклинюванням справа в центральній частині родовища в межах гірничого відводу шахти № 7

За даними Г. В. Короткевича [2], на площі виходу солей під четвертинні відклади Солотвинського соляного купола нараховується шість досить великих ділянок, де палаг відсутній і де є підвищені ризики розвитку соляного карсту, зокрема в межах другої надзаплавної тераси ріки Тиса, на лівому березі потічка Глод, в урочищі «Чорний Мочар» (рис. 3).

Завершує геологічний розріз родовища товща четвертинних відкладів – алювіальних, піщано-гравійно-галькових надзаплавних терас р. Тиси та лесовидних суглинків, а також досліджені нами озерно-болотні відклади, заторфовані та торфово-мулисті ґрунти, а також власне торфи урочища «Чорний Мочар».

Схематичний геологічний розріз по лінії Чорний Мочар – Затон, показує, що при активізації соляної тектоніки та піднятті Солотвинського соляного купола, у його південно-східній частині, відбувались активні процеси розвитку природного соляного карсту з формування найпотужнішої на родовищі товщі четвертинних відкладів, що досягають тут максимальної потужності близько 100 м, а також досить потужної товщі озерно-болотних відкладів, заторфованих та торфово-мулистих ґрунтів, а також власне торфів, потужністю до 20 м (рис. 4).



Рис. 3. Шість ділянок виходу солей під четвертинні відклади на площі виходу солей під четвертинні відклади, де «палаг» відсутній і де є підвищені ризики розвитку соляного карсту в межах Солотвинського соляного купола, зокрема в межах другої надзаплавної тераси річки Тиса на лівому березі потічка Глод – в урочищі «Чорний Мочар» (за даними Г. В. Короткевича [2])

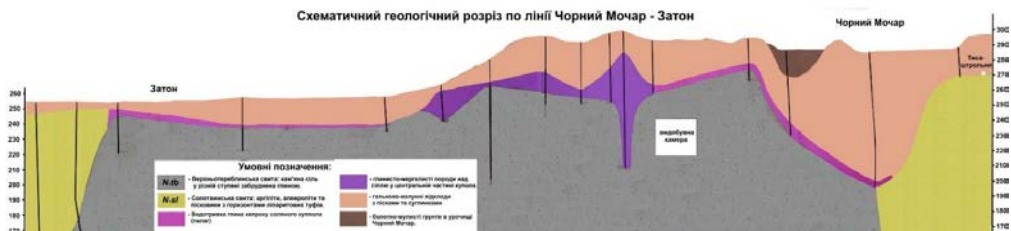


Рис. 4. Схематичний геологічний розріз по лінії Чорний Мочар – Затон демонструє максимальну для родовища потужність четвертинних відкладів до 100 м у межах урочища «Чорний Мочар», включно з товщею озерно-болотних відкладів, заторфованих та торфово-мулистих ґрунтів і торфових покладів потужністю до 20 м

Профілі озерно-болотних відкладів, заторфованих та торфово-мулистих ґрунтів, а також власне торфів в урочищі «Чорний Мочар» показані на рис. 5–9.



Рис. 5. Профіль озерно-болотних відкладів, що залягають на алювіальних гальковиках другої надзаплавної тераси р. Тиса в урочищі «Чорний Мочар» на краю природної мульди просідання



Рис. 6. Профіль похованого прошарку заторфованих ґрунтів та озерно-болотних відкладів, що залягають нижче, перекритих зверху лесовидними суглинками в межах урочища «Чорний Мочар»



Рис. 7. Профіль торфово-мулистих ґрунтів в урочищі «Чорний Мочар»



Рис. 8. Профіль власне торфів в урочищі «Чорний Мочар»

Наявність озерно-болотних відкладів, заторфованих та торфово-мулистих ґрунтів, а також власне торфів, перекритих лесовидними суглинками із чітким ухилом контакту в бік мульди просідання, є незаперечними доказами тривалого в часі розвитку природного соляного карсту на лівому березі палеопотічка Глод. Гідрологічні та екологічні умови карстоутворення, просідання, утворення карстового озера, його замулення та заторфовування, а також їх інтенсивність визначали процеси соляної тектоніки – підняття соляного купола і, як наслідок, самоорганізації гідрологічної мережі та напрямків розвантаження підземних вод.



Рис. 9. Профіль озерно-болотних відкладів, заторфованих та торфово-мулистих ґрунтів, а також власне торфів перекритих лесовидними суглинками із чітким ухилом контакту в бік мульди просідання – палеокарстового провалу, палеокарстового озера, що зазнало замулення та евтрофікації з формуванням торфовища в урочищі «Чорний Мочар»

Саме в урочищі «Чорний Мочар» була з одного боку одна з найвищих ділянок виходу солей під четвертинні відклади, яка контактувала з потужним потоком підземних вод, що призводило до найбільш інтенсивного вилугування солей та формування тут зони живлення четвертинного водоносного горизонту з природним палеокарстовим провалом утворенням та просіданням досить великої мульди, формування палеокарстового озера, що зазнало замулення та евтрофікації з формуванням торфовища.

Причому фондові матеріали свідчать, що при бурінні в урочищі «Чорний Мочар» гідрогеологічної свердловини № 23, у ній спостерігалось бурхливе виділення горючого газу, що, імовірно, пов'язане з потужною товщею торфів.

Торфовище «Чорний Мочар» локлізоване між гірничими відводами шахт № 8 та особливо № 9. Шахта № 9 (рис. 10) діяла з 1975 року. Соляний поклад розкритий трьома центральними розташованими стовбурами: головним, допоміжним і скіповим. Головний ствол діаметром 6 м проведений до глибини 430 м. До глибини 265 м ствол проходить по вміщувальних породах, глибше – у солях.

Шахтою № 9 відроблений тільки один горизонт на глибині 360 м від поверхні. Підшва видобувних камер розташована на відмітці мінус 146 м, а покрівля на мінус 81 м. Ширина камер 20 м, висота 68 м, довжина 90–165 м. Міжкамерні цілики мають ширину 30 м. Площа горизонтального перетину видобувних камер 28 880 м², об'єм 2 млн м³.

Водовідливні установки були розміщені в рудворах на горизонтах мінус 146 і мінус 81 м. З нижнього горизонту розсіл перекачували в резервуар на горизонті мінус 81 м, а звідти – на поверхню. Наприкінці 2004 року, у зв'язку зі збільшенням водоприпливу діяльність підземного відділення лікарні була обмежена, а у 2008 р., коли водопритік збільшився до 500 м³/годину, припинена. У грудні 2008 року помпи були затоплені.

Місце прориву води встановлено безпосередньо в центрі болота «Чорний Мочар», де стався провал. Геологічний розріз місця прориву наведено на (рис. 11).

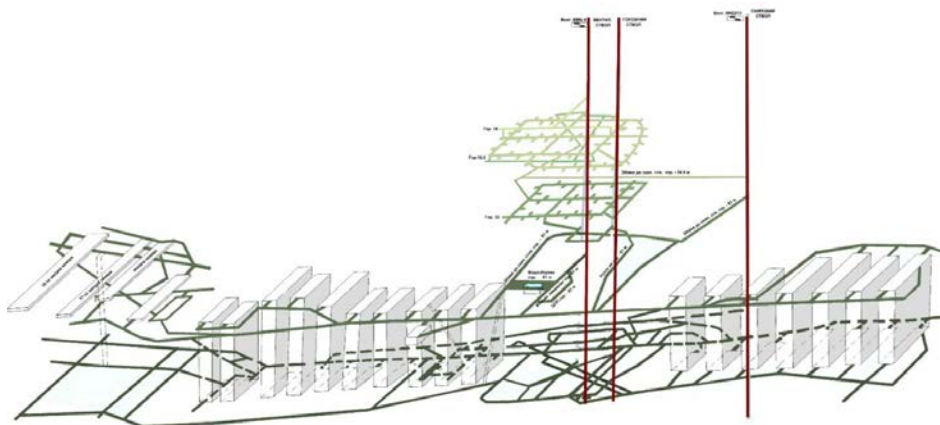


Рис. 10. Схема виробок шахти № 9

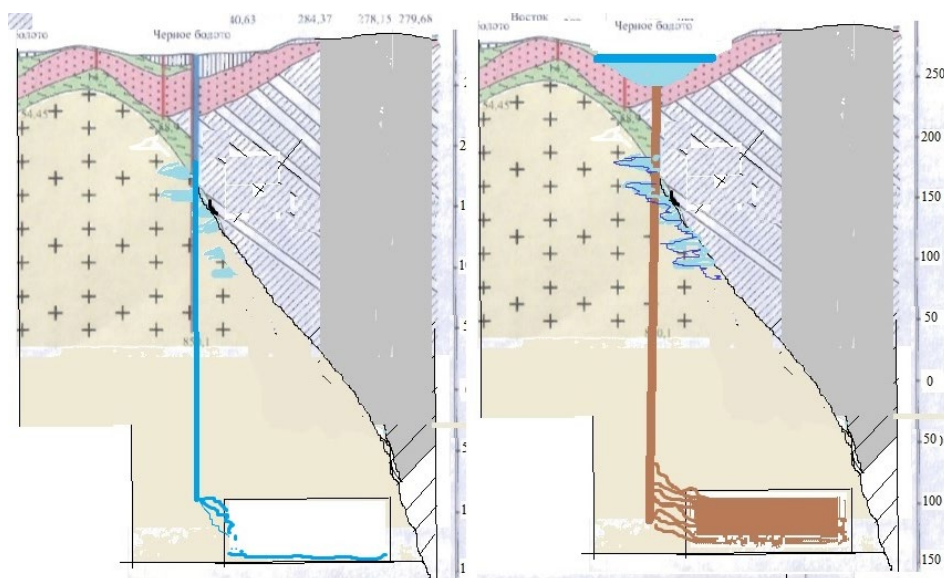


Рис. 11. Ліворуч – схема прориву води із зони бокового карсту через свердловину у видобувні камери, праворуч – провал і заповнення жерла й камер провальними масами

Воно становить собою котловину над контактом соляного тіла з вміщувальними породами. Потужність четвертинних відкладів у котловині досягає 60 м. Бокові породи складені мергелями, аргілітами, алевролітами, пісковиками, які нахилені під кутом 40–60°.

У геологічному минулому тут було вогнище розвантаження підземних вод. Унаслідок розчинення солей утворилося карстове озеро, яке із часом евтрофікувалося, тобто заросло водною і прибережною рослинністю та перетворилося в болото. Про це свідчить лінза торфу у відслоненні на борту провалу.

На контакт соляного купола з боковими породами проходить карстовий канал, який є зоною транзиту розсолів і простягається від Чорного Мочару до озер Затону. Наявність

указаного карстового каналу встановлена ще Г. В. Короткевичем [2] і підтверджена геофізичними дослідженнями, проведеними УкрНДІМІ. За Г. В. Короткевичем, який задокументував розкриті гірничими виробками карстові порожнини, морфологічно карстовий канал має вигляд серії глибоких ніш на глибині до 200 м. Їх положення контролюється змінами базису ерозії – рівнем води в різні періоди роботи древніх шахт.

Послідовність подій із затоплення шахти № 9. Дослідження послідовності процесів при затопленні шахти № 9 дозволяє виокремити такі етапи [8–9]. **Перший етап** – 2001–2006 рр. Гірничими виробками розкрита тріщинувата зона, пов’язана з не задокументованими свердловинами в центрі болота Чорний Мочар. Через свердловини із закарстованої приконтальної зони проникла вода, яка по мірі руху перетворилася в ропу. Пониження рівня бокових підземних у районі Чорного Мочару призвело до інверсії руху води – озера Затону перетворилися із зони розвантаження в зону живлення. Із цих озер вода карстовим каналом протікає в район Чорного Мочару і стволами свердловин виливається у видобувні камери. Із шахти розсіл відкачують і скидають в озера Затону, де розсіл розбавляється атмосферними водами і знову тече до Чорного Мочару.

Унаслідок агресивності недосичених роп діаметр свердловин розширяється. Завдяки розширенню карстового каналу і свердловин дебіт припливу ропи з 2001 до 2006 поступово зростає до 200 м³/годину.

Другий етап – 2006–2008 рр. Стволи свердловин в інтервалі солей внаслідок розчинення розширилися до діаметра близько 10 м. Покривальні породи – глина, суглинок, гальковик, торф – почали провалюватися в жерло. Продукти обвалювання змішувалися з ропою, що постала з карстового каналу (рис. 12). Утворювалася гідросуміш, яка заповнювала видобувні камери. У камерах швидкість потоку різко зменшилася, і тверда фаза випадала в осад. Освітлена ропа текла до ствола, де велолося відпомповування. Помпувальна станція перенесена на верхній горизонт. Приплив ропи зріс до 500 м³/годину. На це вказує динаміка водопритоків у шахту № 9 у 2005–2009 рр. та його зв’язок з еволюцією провалоутворення в районі Чорного Мочару (рис. 12).



Рис. 12. Схема формування гідросуміші

На поверхні утворюється провалля, у яке з крутих схилів сповзають покривальні породи, дерева й дачні будинки. Усі вищезгадані події чітко фіксуються змінами провалу в районі Чорного Мочара у 2007–2009 роках (рис. 13 та 14).



Рис. 13. Динаміка водоприпусків у шахту № 9 у 2005–2009 рр. та його зв'язок з еволюцією провалоутворення в районі Чорного Мочара

Сучасний стан карстового озера в урочищі «Чорний Мочар», береги якого інтенсивно заростають вологолюбивою рослинністю, показано на (рис. 15).

Проведені дослідження вказують на задовільний екологічний стан сучасного карстового озера в урочищі «Чорний Мочар» із типовим біорізноманіттям іхтіофауни для таких природних чи штучних непротічних водойм: голий (шкірястий) короп, короп дзеркальний, карась та інші види (рис. 16).

Наявність цих видів свідчить про штучне зариблення та, ймовірно, привнесення ікринок риболовними птахами.

Водночас в умовах посиленого техногенного навантаження, забруднення та засмічення є ризики прискореної евтрофікації, замулення та заболочення.



Рис. 14. Динаміка провалоутворення в районі Чорного Мочара внаслідок катастрофічного водопритоку в шахту № 9 у 2007–2009 роках із формуванням карстового провалу та карстового озера

Висновки. На основі проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. Описано еволюцію постмайнінгових змін торфовища, карстового провалу та карстового озера «Чорний Мочар» у межах Солотвинського родовища кам'яної солі, які є одними з найбільш цікавих природних утворень. Історичні та сучасні карстові озера на



Рис. 15. Сучасний стан карстового озера в урочищі «Чорний Мочар», береги якого інтенсивно заростають вологолюбною рослинністю



Рис. 16. Видове різноманіття виловлених під час любительської риболовлі іхтіофауни сучасного карстового озера «Чорний Мочар»: голий (шкірястий) короп, короп дзеркальний, карась та інші види

ділянках поширення соленосних відкладів мають вагоме як загальнонаукове, так і практичне значення як особливо цінні індикаторні об'єкти постійного моніторингу в умовах розробки соляних покладів.

2. Формування провалу, озера, болота та торфовища «Чорний Мочар» у східній частині Солотвинського родовища кам'яної солі тісно пов'язано з процесами соляної тектоніки та розвитком природного соляного карсту на ділянці, де на площі виходу солей під четвертинні відклади відсутній палаг у межах другої надзаплавної тераси річки Тиса, на лівому березі потічка Глод.

3. Наявність у геологічній будові легкорозчинних соляних формацій, їх локалізація в зоні активного водообміну, розчинення соляних мінералів з утворенням підземних порожнин, провалоутворення над природними чи техногенними пустотами, заповнення підземними водами та функціонування певний історичний (геологічний) період як гідрологічних об'єктів – карстових озер на прикладі урочища «Чорний Мочар» – має вагоме значення для розуміння причинно-наслідкових зв'язків та прогнозування стану як геологічного середовища загалом, так і довкілля зокрема.

4. При піднятті соляного купола в його східній частині відбувались активні процеси розвитку природного соляного карсту з формування найпотужнішої на родовищі товщі четвертинних відкладів, що досягають тут максимальної потужності біля 100 м, а також досить потужної товщі озерно-болотних відкладів, заторфованих та торфово-мулистих ґрунтів і власне торфів потужністю до 20 м.

5. Наявність озерно-болотних відкладів, заторфованих та торфово-мулистих ґрунтів, а також власне торфів перекритих лесовидними суглинками із чітким ухилом контакту в бік мульди просідання, є незаперечними доказами тривалого в часі розвитку природного соляного карсту на лівому березі палеопотічка Глод. Гідрологічні та екологічні умови карстоутворення, просідання, утворення карстового озера, його замулення та заторфовування, а також їх інтенсивність, визначали процеси соляної тектоніки – підняття соляного купола і, як наслідок, самоорганізації гідрологічної мережі та напрямків розвантаження підземних вод.

6. Надзвичайно важливими аспектами еволюції карстових озер є їх природна еволюція в торфовища чи техногенно посилені процеси евтрофікації, замулення, заболочення з перспективою трансформації в торфові поклади при збереженні виявлених тенденцій у майбутньому. Наявність торфу в геологічних розрізах давніх карстових провалів є однозначним доказом наявності в них озер та їх змін в умовах сповільненого водообміну і, як наслідок, накопичення біогенних елементів.

7. Саме в урочищі «Чорний Мочар» була з одного боку одна з найвищих ділянок виходу солей під четвертинні відклади, яка контактувала з потужним потоком підземних вод, що призводило до найбільш інтенсивного вилугування солей саме в цій частині родовища ділянці родовища, формування тут зони живлення четвертинного водоносного горизонту з природним палеокарстовим провалоутворенням та просіданням досить великої мульди, формування палеокарстового озера, що зазнало замулення та евтрофікації з формуванням торфовища, де були зафіксовані прояви виділення метану.

8. Доведено, що наявність торфовищ над соляними відкладами, що близько залягають до поверхні, є ознакою порушеності геологічного середовища, яке тривалий історичний (геологічний) період було стабілізоване, однак при зміні гірничо-геологічних, інженерно-геологічних та гідрогеологічних умов потенційно знову може бути порушене. З огляду на це, такі ділянки можна вважати індикаторними, найбільш важливими для моніторингу за розвитком соляного карсту на всіх етапах їх розвитку: утворення провалу, заповнення виїмки водою, функціонування як екосистеми озера із чистою водою та водної товщі, що зазнає евтрофікації з трансформацією в болото.

9. Особливо актуальним моніторинг за такими об'єктами є в умовах наявності соляних копалень як потенційних чинників порушення гідрогеологічної рівноваги, і будь-які, навіть найменші зміни, можуть бути важливими індикаторами активізації соляного карсту.

10. Проведені дослідження вказують на задовільний екологічний стан сучасного карстового озера в урочищі «Чорний Мочар» із типовим біорізноманіттям іхтіофауни для подібних природних чи штучних непротічних водойм, водночас в умовах посиленого техногенного навантаження, забруднення та засмічення, є ризики прискореної евтрофікації, замулення та заболювання. Розглянуті особливості розвитку провалу, озера, болота й торфовища «Чорний Мочар» мають вагоме значення для моніторингу за станом геологічного середовища в межах гірничого відводу шахти № 9, особливо за умови раніше обгрунтованого варіанту її осушення, відновлення роботи як копальні, так і підземного відділення алергологічної лікарні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гайдін А. М. Врятувати Солотвино. П'ята міжнародна науково-практична конференція «Надрокористування в Україні». Трускавець, 2018. С. 57–65.
2. Короткевич Г. В. Соляний карст. Львів : Надра, 1970. 256 с.
3. Колодій В. В. Гідрогеологія : підручник для студ. геол. спец. вищ. навч. закл. Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2010. 368 с.
4. Гайдін А. М., Рудько Г. І. Техногенний карст. Чернівці : Букрек, 2016. 200 с.
5. Гайдін А. М., Дяків В. О. Геодинамічні процеси на соляних родовищах. Матеріали міжнародної конференції «Форум гірників – 2010». Дніпропетровськ. С. 23–41.
6. Дяків В. О., Козловський В. І., Романюк Н. Д. Природний та техногенно-активізований карст в межах провалу, озера, болота та торфовища «Чорний Мочар» Солотвинського родовища кам'яної солі (Закарпаття). Матеріали Восьмої міжнародної науково-практичної конференції: «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування» у 2 т. (2023 р., м. Львів). Київ : 2023. С. 458–469.
7. Рудько Г. І., Гайдін А. М. Провали. Деформації земної поверхні над гірничими виробками і карстами. Київ – Чернівці : Букрек, 2019. 218 с.
8. Дяків В. О., Білоніжка П. М. Особливості геологічної будови та сучасний геоекологічний стан Солотвинського родовища кам'яної солі (Закарпаття). *Вісник Львів. ун-ту. Серія геол.* 2010. Вип. 24. С. 62–79.
9. Дяків В. О. Закономірності розвитку техногенно активізованого соляного карсту в процесі затоплення шахт № 8 та № 9 Солотвинського солерудника. Збірник наукових праць Волинського нац. ун-ту ім. Лесі Українки – № 9. Природа Західного Полісся та прилеглих територій. Луцьк, 2012. С. 69–79.
10. Дяків В. О. Перспективи відновлення солевидобутку та спелеолікування у затопленій шахті № 9 Солотвинського солерудника. Тези Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи відновлення спелеотерапії та видобутку солі на базі родовища кам'яної солі в смт Солотвино, Тячівського р-ну, Закарпатської обл.». смт Солотвино, 22–23 жовтня 2013 р. 2013. С. 51–52.
11. Дяків В. О., Пакшин М. Ю. Еволюція постмаїнінового ландшафту та карстової гідрогеологічної системи Солотвинського родовища кам'яної солі за результатами аерокосмічного моніторингу методами постійних відбивачів (PS) та малих базових ліній (SBAS). Матеріали П'ятої міжнародної науково-практичної конференції: «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування» у 2 т. (8–12 жовтня 2018 р., м. Трускавець). Київ : 2018. Т. 2. С. 122–133.
12. Гайдін А., Дяків В. Як повернути і примножити втрачений потенціал? (Шахта № 9 у межах Солотвинського родовища кам'яної солі: від катастрофічного водопритоку, активного розвитку соляного карсту та аварійного затоплення – до

ефекту самотампонування і відновлення підземного відділення алергологічної лікарні). *Всеукраїнський екологічний науково-популярний журнал «Зелені Карпати»*. 2020, № 1-4 (64–67). С. 96–101.

13. Дяків В. О., Гайдін А. М. Ретроспективний аналіз розвитку соляного карсту, ефект самотампонування карстового каналу та перспективи відновлення спелеолікарні в шахті № 9 у межах Солотвинського родовища. Матеріали Сьомої міжнародної науково-практичної конференції: «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування» у 2 т. (2021 р., м. Львів). Київ : 2021. Т. 2. С. 157–168.
14. Гайдін А. М., Дяків В. О. Геодинамічні процеси, що супроводжують розвиток техногенно-активізованого соляного карсту. Матеріали Сьомої міжнародної науково-практичної конференції: «Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування» у 2 т. (2021 р., м. Львів). Київ : 2021. Т. 2. С. 182–189.
15. Дяків В., Гайдін А. Карстова гідрогеологічна система Солотвинського родовища, ефект самотампонування карстового каналу та перспективи відновлення спелеолікарні у шахті № 9. *Вісник Львівського ун-ту. Серія геол.* 2021. Вип. 35. С. 91–110. DOI: <https://doi.org/10.30970/vgl.35.07>

REFERENCES

1. Haydin, A.M. (2018). Vryatuvaty Solotvyno [Save Solotvino]. P"yata mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiya «Nadrokorystuvannya v Ukrayini». Truskavets', S. 57–65. [in Ukrainian].
2. Korotkevych, H. V. (1970). Solyanyy karst [Salt karst]. L.: Nadra, 256 s.
3. Kolodiy, V. V. (2010). Hidroheolohiya : pidruchnyk dlya stud [Hydrogeology: a textbook for students]. heol. spets. vyshch. navch. zakl. L'viv : LNU imeni Ivana Franka, 368 s. [in Ukrainian].
4. Haydyn, A.M. (2016). Tekhnohenny karst [Technogenic karst]. A.M. Haydin, Rud'ko H.I. Chernivtsi: Bukrek, 200 s.
5. Haydin, A.M. Heodynamichni protsesy na solyanykh rodovyshchakh [Geodynamic processes in salt deposits]. A.M. Haydin, V.O. Dyakiv. Materialy mizhnarodnoyi konferentsiyi «Forum hirnykiv – 2010». Dnipropetrovs'k. S. 23–41. [in Ukrainian].
6. Dyakiv, V.O. (2023). Pryrodnyy ta tekhnohenko-aktyvizovanyy karst v mezhakh provalu, ozera, bolota ta torfovyyshcha «Chornyy Mochar» Solotvyns'koho rodovyshcha kam"yanoyi soli (Zakarpattia) [Natural and technogenically activated karst within the depression, lake, swamp and peat bog "Chornyy Mochar" of the Solotvino rock salt deposit (Transcarpathia)]. V.O. Dyakiv, V.I. Kozlovskyy, N.D. Romanyuk. Materialy Vos'moyi mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi: «Nadrokorystuvannya v Ukrayini. Perspektyvy investuvannya» u 2 t. (2023 r., m. L'viv). K.: S. 458–469. [in Ukrainian].
7. Rud'ko, H.I. (2019). Provaly. Deformatsiyi zemnoyi poverkhni nad hirnychymy vyrobkamy i karstamy [Sinkholes. Deformations of the Earth's surface above mining operations and karsts]. Rud'ko H.I., A.M. Haydin. Kyiv – Chernivtsi: Bukrek, 218 s. [in Ukrainian].
8. Dyakiv, V.O. (2010). Osoblyvosti heolohichnoyi budovy ta suchasnyy heoekolohichnyy stan Solotvyns'koho rodovyshcha kam"yanoyi soli (Zakarpattia) [Peculiarities of the geological structure and the current geoeological state of the Solotvyn rock salt deposit (Transcarpathia)]. V.O. Dyakiv, P.M. Bilonizhka. *Visnyk L'viv. un-tu. Seriya heol.* Vyp. 24. S.62–79. [in Ukrainian].
9. Dyakiv, V.O. (2012). Zakonomirnosti rozvytku tekhnohenko aktyvizovanoho solyanoho karstu v protsesi zatopleniya shakht № 8 ta № 9 Solotvyns'koho solerudnyka [Regularities of development of technogenically activated salt karst in the process of flooding of mines No. 8 and No. 9 of the Solotvynsky salt mine]. Zbirnyk naukovykh prats' Volyns'koho nats. un-tu im. Lesi Ukrayinky - № 9. Pryroda Zakhidnoho Polissya ta prylyhlykh terytoriy. Luts'k, S.69–79. [in Ukrainian].

10. Dyakiv, V.O. (2013). Perspektivy vidnovlennya solevydobutku ta speleolikuvannya u zatopeniy shakhti № 9 Colotvyns'koho solerudnyka [Prospects for the restoration of salt mining and speleotherapy in the flooded mine No. 9 of the Solotvynsky salt mine]. Tezy Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi «Perspektivy vidnovlennya speleoterapiyi ta vydobutku soli na bazi rodovyshcha kam'yanoyi soli v smt. Solotvyno, Tyachivs'koho r-nu, Zakarpat's'koyi obl.». smt. Solotvyno, 22-23 zhovtnya 2013 r. S. 51–52. [in Ukrainian].
11. Dyakiv, V.O. (2018). Evolyutsiya postmayninovoho landshaftu ta karstovoyi hidroheolohichnoyi systemy Solotvyns'koho rodovyshcha kam'yanoyi soli za rezul'tatamy aerokosmichnoho monitoryngu metodamy postyinykh vidbyvachiv (PS) ta malykh bazovykh liniy (SBAS) [Evolution of the post-mining landscape and karst hydrogeological system of the Solotvyn rock salt deposit based on the results of aerospace monitoring using permanent reflectors (PS) and small baselines (SBAS) methods]. V.O. Dyakiv, Pakshyn M.YU. Materialy P'yatoyi mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi: «Nadrokorystuvannya v Ukraini. Perspektivy investuvannya» u 2 t. (8–12 zhovtnya 2018 r., m. Truskavets'). K.: T.2. S. 122–133. [in Ukrainian].
12. Haydin, A. (2020). Yak povernuty i prymnozhyty vtrachenyy potentsial? (Shakhta № 9 u mezhakh Solotvyns'koho rodovyshcha kam'yanoyi soli: vid katastrofichnoho vodoprytoku, aktyvnoho rozvytku solyanoho karstu ta avariynoho zatoplennya – do efektu samotamponuvannya i vidnovlennya pidzemnoho viddilennya alerholohichnoyi likarni) [How to return and increase the lost potential? (Mine No. 9 within the Solotvyn rock salt deposit: from catastrophic water inflow, active development of salt karst and emergency flooding - to the effect of self-tamping and restoration of the underground department of the allergy hospital)]. A. Haydin, V. Dyakiv. *Vseukrayins'kyi ekologichnyy naukovo-populyarnyy zhurnal «Zeleni Karpaty»*. № 1-4 (64–67). S. 96–101. [in Ukrainian].
13. Dyakiv, V.O. (2021). Retrospektyvnyy analiz rozvytku solyanoho karstu, efekt samotamponuvannya karstovoho kanalu ta perspektyvy vidnovlennya speleolikarni v shakhti № 9 u mezhakh Solotvyns'koho rodovyshcha [Retrospective analysis of the development of salt karst, the effect of self-tamping of the karst channel and the prospects for the restoration of the speleological room in mine No. 9 within the Solotvyn deposit]. V.O. Dyakiv, A.M. Haydin. Materialy C'omoyi mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi: «Nadrokorystuvannya v Ukraini. Perspektivy investuvannya» u 2 t. (2021 r., m. L'viv). K.: T.2. S. 157–168. [in Ukrainian].
14. Haydin, A.M. (2021). Heodynamichni protsesy, shcho suprovodzhuyut' rozvytok tekhnogenno-aktyvizovanoho solyanoho karstu [Geodynamic processes accompanying the development of technogenically activated salt karst]. A.M. Haydin, V.O. Dyakiv. Materialy C'omoyi mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi: «Nadrokorystuvannya v Ukraini. Perspektivy investuvannya» u 2 t. (2021 r., m. L'viv). K.: T.2. S. 182–189. [in Ukrainian].
15. Dyakiv, V. (2021). Karstova hidroheolohichna systema Solotvyns'koho rodovyshcha, efekt samotamponuvannya karstovoho kanalu ta perspektyvy vidnovlennya speleolikarni u shakhti № 9 [Karst hydrogeological system of the Solotvyn deposit, the effect of self-tamping of the karst channel and prospects for the restoration of the speleological chamber in mine No. 9] / V. Dyakiv, A. Haydin. *Visnyk L'vivs'koho un-tu. Seriya heol.* Vyp. 35. S. 91–110. DOI: <https://doi.org/10.30970/vgl.35.07> [in Ukrainian].

KARST LAKES AND THEIR TRANSFORMATION INTO PEATLANDS AS NATURAL COMPENSATORY MECHANISMS OF LANDSCAPE STABILIZATION WITHIN THE SOLOTVYN FIELD

Vasyl Dyakiv¹, Volodymyr Kozlovsky², Pavlo Makaruk³, Nataliya Romanyuk¹, Lubomyr Sheremeta¹

*¹Ivan Franko National University of Lviv, Hrushevsky Str., 4, Lviv, Ukraine, 79005
e-mail: dyakivw@yahoo.com; <https://orcid.org/0000-0001-8045-4595>; nataliya.romanyuk@lnu.edu.ua; lubomirsheremeta@gmail.com*

²Institute of Ecology of the Carpathians, NAS of Ukraine, Kozelnytska Str., 4, Lviv, Ukraine, 79026

³Solerudlikvidatsiya, Transcarpathian region, Tyachiv district, Shakhtarska Str., 36, Solotvino, Ukraine, 90575

The evolution of post-mining changes in the peat bog, karst depression and the “Chorny Mochar” karst lake within the Solotvino rock salt deposit, which are among the most interesting natural formations, is described. Historical and modern karst lakes in the areas of salt-bearing deposits are of great importance both for general scientific purposes and as particularly valuable indicator objects for continuous monitoring in the conditions of salt deposit development.

The presence of easily soluble salt formations in the geological structure, their localization in the zone of active water exchange, dissolution of salt minerals with the formation of underground cavities, sinkholes over natural or man-made voids, filling with groundwater and the functioning of a certain historical (geological) period as hydrological objects - karst lakes on the example of the “Chorny Mochar” tract is of great importance for understanding cause-and-effect relationships and predicting both the state of the geological environment in general and the state of the environment in particular.

Extremely important aspects of the evolution of karst lakes are their natural evolution into peatlands or man-made enhanced processes of eutrophication, silting, and waterlogging with the prospect of transformation into peat deposits if the identified trends are preserved in the future. The presence of peat in geological sections of ancient karst depressions is unambiguous evidence of the presence of lakes in them and their changes in conditions of slowed water exchange and as a result of the accumulation of biogenic elements.

It has been proven that the presence of peatlands on salt deposits close to the surface is a sign of the disturbance of the geological environment, which has been stabilized for a long historical (geological) period, but with changes in mining and geological, engineering geological and hydrogeological conditions, it can potentially be disturbed again. Based on this, such areas can be considered indicator, the most important for monitoring the development of salt karst at all stages of their development: the formation of a depression, filling the depression with water, functioning as an ecosystem of a lake with clean water and a water column undergoing eutrophication with transformation into a swamp.

Monitoring of such objects is especially relevant in the presence of salt mines as potential factors of hydrogeological balance disturbance, and any, even the smallest changes, can be important indicators of salt karst activation.

It is such a case of two karst lakes: historical (geological), as evidenced by the peat deposits described by us, and modern – a reservoir formed after the collapse in 2007-2009, that we consider using the example of the Chorny Mochar area within the Solotvyn rock salt deposit.

Key words: salt karst, Solotvyn rock salt deposit, geological environment, evolution of changes, hydrogeological conditions, self-organization of the landscape, karst lake, eutrophication, siltation, swamping, tofu field.

Дата надходження статті: 28.07.2025

Дата прийняття статті: 25.08.2025

Опубліковано: 29.10.2025