



Hungary
Slovakia
Romania
Ukraine

**PARTNERSHIP
WITHOUT BORDERS**

«Екологічна оцінка можливостей відновлення природних ресурсів у Солотвино з метою запобігання подальшому забрудненню басейну Верхньої Тиси через підготовку комплексної системи моніторингу»

РЕВІТАЛ I



**Ужгород
2023**



Co-financed by the European Union

Партнери проєкту:

Європейське об'єднання територіального співробітництва з обмеженою відповідальністю ТИСА (ЄОТС ТИСА), Угорщина

Мішкольцький Університет, Угорщина

Солотвинська селищна рада, Україна

Муніципалітет Сігету-Мармацієй, Румунія

Кошицький технічний університет, Словаччина

Інститут геологічних наук Національної академії наук України, Україна



Матеріал підготовлено за фінансової підтримки Європейського Союзу. Його зміст є виключною відповідальністю ЄОТС ТИСА і не обов'язково відображає погляди Європейського Союзу.

www.tiszaett.hu

ЗМІСТ

Передмова	4
Контекст і солотвинський аналіз <i>ГЕС Роланд, ведучий аналітик Центральноєвропейської служби підтримки транскордонних ініціатив (CESCI)</i>	5
Регіональний вплив та охоплення 1 <i>ЛЕНДЄЛ Пейтер, Муниципалітет Сігету-Мармаціей (Румунія), доктор біологічних наук</i>	8
Регіональний вплив та охоплення 2 <i>ЗЕЛЕНЯКОВА Мартіна, заступник декана з питань розвитку співпраці та із закордонням Кошицького технічного університету, доцент, інж., доктор філософії, Будівельний факультет – Інститут екологічної інженерії (Словаччина)</i>	11
Польові дослідження, аналіз <i>СЮЧ Пейтер, проректор Мішкольцьського університету (Угорщина), професор, доктор наук, МІКІТА Вікторія, викладач Інституту управління навколишнього середовища Мішкольцьського університету доктор наук (Угорщина)</i>	17
Комплексна система геомоніторингу для сталого розвитку Солотвина <i>ШЕХУНОВА Стелла, професор, доктор геологічних наук, академік НАН України, директор Інституту геологічних наук, СТАДНІЧЕНКО Світлана, кандидат геологічних наук, старший науковий співробітник Інституту геологічних наук НАН України</i>	24
Можливі майбутні дії, <i>ЙОВДІЙ Василь, голова Солотвинської селищної ради Тячівського району Закарпатської області</i>	31
Презентація концептуальної стратегії <i>АКІТІС Едмундс, експерт ЄС зі зменшення ризиків, зовнішній експерт ЄОТС ТИСА</i>	32

ПЕРЕДМОВА

Проект РЕВІТАЛ 1 розпочався у 2019 році, проте у процесі реалізації виникли серйозні затримки через Covid-19 та війну Росії в Україні. Тому проект кілька разів пролонговували, а у контракт вносили зміни. Незважаючи на логістичні труднощі та проблеми безпеки, що перешкоджали ефективній і результативній діяльності, під час виконання роботи (зокрема, польових робіт) усі партнери проекту продемонстрували неймовірну жертвовність та внутрішню мотивацію.

У процесі діяльності було зібрано різноманітні показники (геологічна, гідрогеологічна якість та кількість води), на підставі яких було отримано точну інформацію про досліджувану територію та виявлено погіршення ситуації в Солотвині. Метою реалізації проекту було визначення трьох конкретних цілей:

- вивчити та оцінити поточний екологічний стан Солотвинського солерудника і його околиць за допомогою інноваційних технологій;
- налагодити дослідницький моніторинг та розробити відповідну майбутню комплексну систему моніторингу для відстеження поверхневих і приповерхневих вод, якісних та кількісних змін, а також руху ґрунту;
- підвищувати обізнаність та пропагувати результати проекту на різних рівнях.

До складу консорціуму увійшли: Університет Мішкольца, Угорщина; Солотвинська селищна рада, Україна; Муніципалітет Сігету Мармацій, Румунія; Технічний університет Кошице, Словаччина; Інститут геологічних наук Національної академії наук України та головний партнер – ЄОТС ТИСА (Україна/Угорщина). Також було кілька цінних субпідрядників, які надавали свою підтримку у процесі реалізації проекту.

Досягнуто певних результатів (враховуючи уже описані перешкоджаючі фактори), а місцеві та регіональні органи влади будуть і надалі підтримувати реалізацію запропонованих дій. Очевидно, що досягти більших успіхів можна тільки спільними зусиллями місцевої та державної влади із залученням наукових інституцій.

Снівробітники ЄОТС ТИСА

КОНТЕКСТ І СОЛОТВИНСЬКИЙ АНАЛІЗ

На Центральноєвропейську службу сприяння транскордонним ініціативам (CESCI) було покладено виконання таких **завдань**:

- у співпраці з експертами проекту підготувати територіальний, економічний та соціальний аналіз стратегічної концепції підтримки ревіталізації гірничопромислового комплексу в Солотвині;
- у межах стратегічної концепції визначити подальші кроки з ревіталізації та сформувані пропозиції щодо сталого використання гірничої території, враховуючи специфіку регіону;
- проводити інтерв'ю та збір даних, необхідних для аналізу, отримувати інформацію, що стосується предмету дослідження.

Основна **мета** розділу, відповідальність за виконання якого була покладена на Центральноєвропейську службу сприяння транскордонним ініціативам (CESCI), – показати головні виклики та потенціал, що впливає з місцевих територіальних надбань Солотвина. Аналіз містить висновки та рекомендації, демонструючи комплексну картину факторів, які формують територіальну, економічну та соціальну згуртованість населення. Майбутній аналіз важливий для глибшого розуміння контексту складних міжгалузевих проблем, які формують сьогодення Солотвина, що тісно пов'язано із видобутком солі та екологічними ризиками, оціненими в інших частинах документа. Вищезазначений аналіз охоплює тему географічних та екологічних особливостей, структури населення та господарську діяльність Солотвина і його околиць (власне адміністративної одиниці та населених пунктів Тячівського району, що з ним межують).

Підсумовуючи найважливіші **результати** дослідження, можна констатувати, що урбанізація Солотвина значною мірою залежить від рівня використання місцевих надбань та географічних аспектів. З географічної точки зору населений пункт розташований на заході України, в Закарпатській області.

Солотвино знаходиться на периферії, що є несприятливим фактором через складність процедури перетину кордону з Європейським Союзом та у зв'язку з відсутністю головних транспортних сполучень із селищем міського типу. Проте Солотвино може отримати вигоду від того, що воно є мирним куточком України та в результаті наближення до європейських ринків, що стане можливим завдяки майбутнім зменшенням негативних ефектів, спричинених складністю перетину

кордону (зокрема, внаслідок будівництва нового прикордонного мостового переходу до Румунії). Потенціал полягає, зокрема, у посиленні функціональної інтеграції з Сигету Мармаціей (Румунія). Солотвино також є локальним центром серед навколишніх населених пунктів і виконує функції, які виділяють селище міського типу з-поміж інших: наявність закладів охорони здоров'я, санаторно-курортний туризм, велика кількість організацій та установ, пов'язаних з національними меншинами.

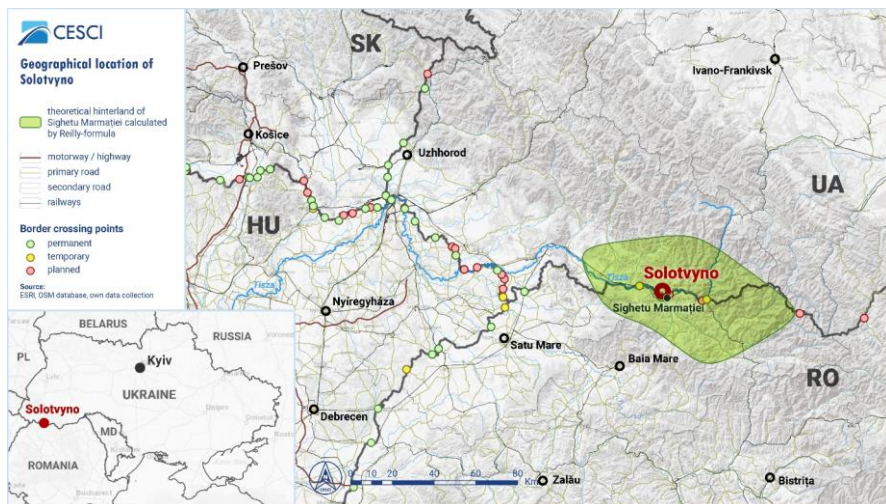


Рис. 1: Географічне розташування Солотвина

Тектонічні рухи землі, пов'язані з гірничодобувною діяльністю, спонукають владу та органи місцевого самоврядування до перегляду планування землевпорядкування та релокацію функціоналу і громадян, що, зважаючи на етнокультурні особливості, потрібно проводити з великою обережністю. Охорона навколишнього середовища має велике значення, оскільки забруднення ґрунтових вод і річки Тиси впливає на ширший транснаціональний річковий басейн. Це потребує спільних ініціатив, принаймні у сферах управління водними ресурсами та охорони навколишнього середовища.

Проблема поводження з відходами у Солотвині не вирішена, що вимагає подальших дій. Розвиток Солотвина та будь-яке втручання у навколишнє середовище неможливо здійснювати без урахування поліетнічного характеру населення, що у майбутньому могло стати основою соціально-економічних поліпшень. Робота з утримання населення від міграції повинна бути збільшена шляхом підвищення

ефективності та дієвості політики, а також здійснення конкретних заходів, які б утримували населення на батьківщині.

Що стосується економічної структури, то після припинення видобутку солі, важливу роль може зіграти диверсифікація. Відсутність великих підприємств після скорочення гірничодобувної промисловості може бути врівноважено підтримкою малого та середнього бізнесу, зокрема, у сфері туризму. Моноструктурна економіка переорієнтовується в економіку туризму. В економіці регіону багато залежить від ситуації у галузі туризму та охорони здоров'я. Велике значення має поява та якісний перехід до комплексного оздоровчо-рекреаційного туризму, що базується на діяльності лікарень та використанні природних ресурсів – солоних вод. Забруднення води та землі, відходи, зсуви й інші рухи нероздільно пов'язані з добробутом місцевого населення.

Процвітання Солотвина, а це – розвиток туризму, сільського господарства та видобуток корисних копалин, – значною мірою залежить від зменшення екологічних і антропогенних ризиків та небезпек, які перешкоджають успіху населеного пункту у переході на більш стабільний і новий шлях розвитку. Без комплексного територіально інтегрованого втручання Солотвино не зможе використовувати свій територіальний капітал та місцеві надбання, а проблеми відтягнуться на більш тривалий термін.

*ГЕС Роланд, ведучий аналітик
Центральноєвропейської служби
підтримки транскордонних ініціатив (CESCI)*

РЕГІОНАЛЬНИЙ ВПЛИВ ТА ОХОПЛЕННЯ 1

Цілі проекту: Основна мета проекту РЕВІТАЛ 1 для румунського партнера полягає у дослідженні поточного впливу середовища Солотвинського соляного родовища на Сігету Мармаціей, відстеження якісних і кількісних змін поверхневих і підземних вод, а також рухів ґрунту.

Полеві дослідження: На першому етапі були проведені електричні та електромагнітні геофізичні вимірювання.



Здійснено моніторинг деформації поверхні та картування ризиків у Сігету-Мармаціей (Румунія). Вимірювання стабільності базується на наборі даних ERS (1992–2000), ENVISAT (2002–2010) і Sentinel-1 (2014–2021), висхідних і низхідних вимірюваннях. Застосовано аналоговий метод, за винятком аналізу на основі сітки. Розмічено систему моніторингу в Сігету Мармаціей. Моніторинг якості води включає такі етапи:

- а) обстеження пробурених і викопаних колодязів;
- б) експертиза водопровідних споруд;
- в) обстеження природних джерел;
- г) обстеження річок Тиса та Іза.

Результати: Відповідно до класифікації PSS-78 солоність усіх перевірених зразків води становить менше 0,5 ppt, тому перевірені води навколо Сігету Мармаціей класифікуються як повністю прісні води упродовж усього періоду дослідження.

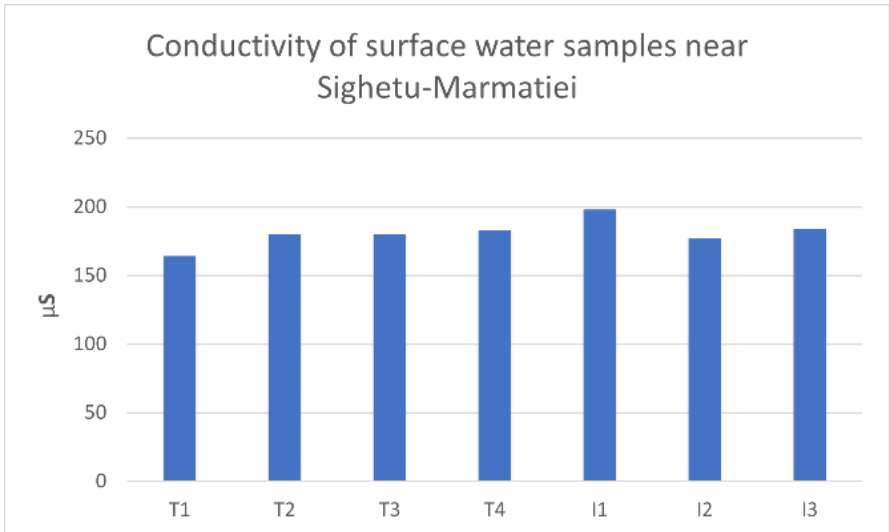
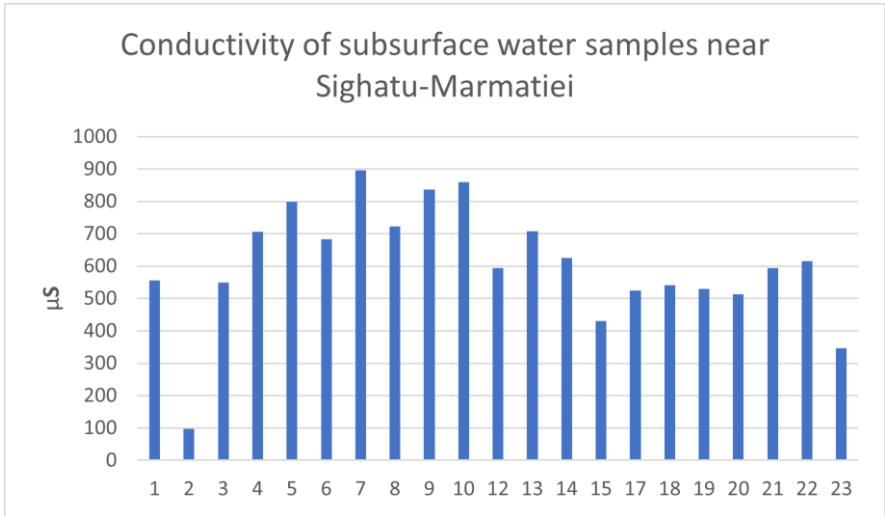
У результаті досліджень солоності, що проведені протягом дії проекту, можна зробити висновок, що Сігету-Мармаціей та його околиці не зазнають впливу соляного забруднення із сусіднього соляного купола Солотвина.



Через екологічну стійкість, біогеохімічну переробку та екологічні ризики особливе занепокоєння викликає забруднення води важкими металами. Такі зустрічаються в осадових відкладеннях у різних геохімічних формах та характеризуються мобільністю, біологічною токсичністю, а також їм притаманні характерні хімічні властивості. У пробах відкладень з дна річок Іза та Тиса не виявлено перевищення допустимих норм.

Результати показують зовсім іншу ситуацію у румунській частині, порівняно з Солотвином. Вся територія Сігету Мармаціей перебуває у стабільному стані, і тут немає жодного району міста, що демонструє географічно впізнавані патерни руху поверхні. Також можна виявити

поодинокі нестабільні зони. Це означає, що зафіксована локальна нестабільність, найімовірніше, пов'язана зі проблемами забудови території або рельєфом схилу.



*ЛЕНДЕЛ Пейтер,
Муниципалітет Сігету-Мармаціей
доктор біологічних наук*

РЕГІОНАЛЬНИЙ ВПЛИВ ТА ОХОПЛЕННЯ 2

Технічний університет у Кошице (ТУК) виконував завдання:

Моніторинг морфологічних змін на основі інтерпретації записів супутникових знімків у районі Солотвинського солерудника та прилеглої території

• Збір, упорядкування та реінтерпретація архівних відомостей, необхідних для виконання інших визначених проєктом заходів.

Комплекс робіт включав:

1. Підготовчу роботу:

- а) ознайомлення з технічною документацією;
- б) проведення розвідувальних робіт та підготовку приладів;
- в) розробку проєкту виконання робіт.

2. Польові роботи:

- а) визначення координат контрольних і реперних точок;
- б) аерофотозйомку території.

3. Обробку результатів:

- а) побудову хмари точок досліджуваної території у Солотвині;
- б) побудову цифрової моделі рельєфу досліджуваної території у Солотвині;
- в) виготовлення ортофотокарти досліджуваної території у Солотвині;
- г) підготовку технічного звіту за результатами обстежень.

Виконано комплекс робіт із побудови хмари точок, цифрової моделі рельєфу та ортофотокарти досліджуваної території у Солотвині (Закарпатська область).

Аерозйомку досліджуваної території у Солотвині проводили у листопаді 2021 року, всього у результаті аерозйомки зроблено 1154 знімки.

Виконано: у результаті обробки створено ортофотоплан, хмару точок та цифрову модель рельєфу з роздільною здатністю 4 см. Середня квадратична похибка їх розміщення не перевищує 19 мм.



Рисунок. Ортоплан досліджуваної території у Солотвині

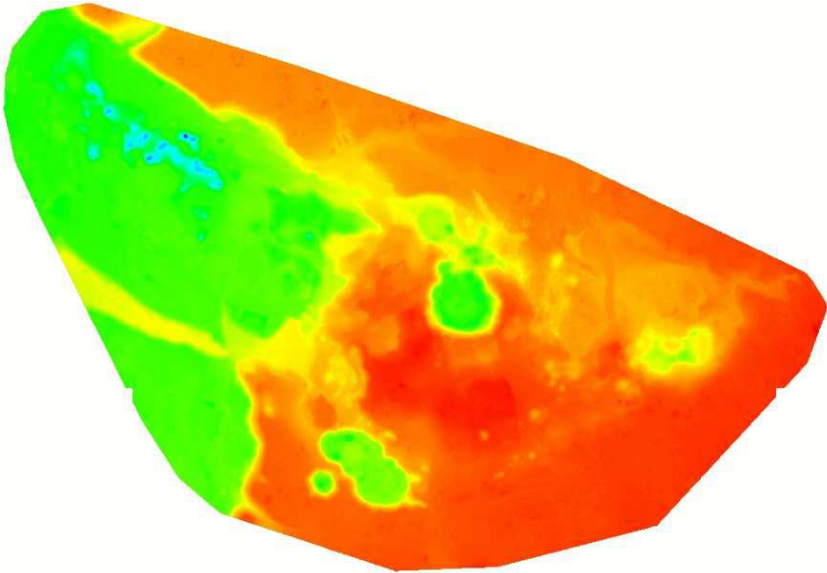


Рисунок. Цифрова модель рельєфу досліджуваної території у Солотвині

- **Описує поточний екологічний стан регіону, дозволяє планування майбутньої системи моніторингу та надання пропозицій щодо її сталого функціонування. Вартість включає співпрацю з кожним партнером проєкту у складанні остаточного плану.**

Цей розділ підбиває підсумки проведення робіт із дослідження зміщення ґрунту за допомогою методу мультитемпоральної супутникової радіолокаційної інтерферометрії (MT-InSAR) та аналізу співвідношення сигналів/шумів (SCR) у районі Солотвинського солерудника, розташованого у Тячівському районі (Україна).

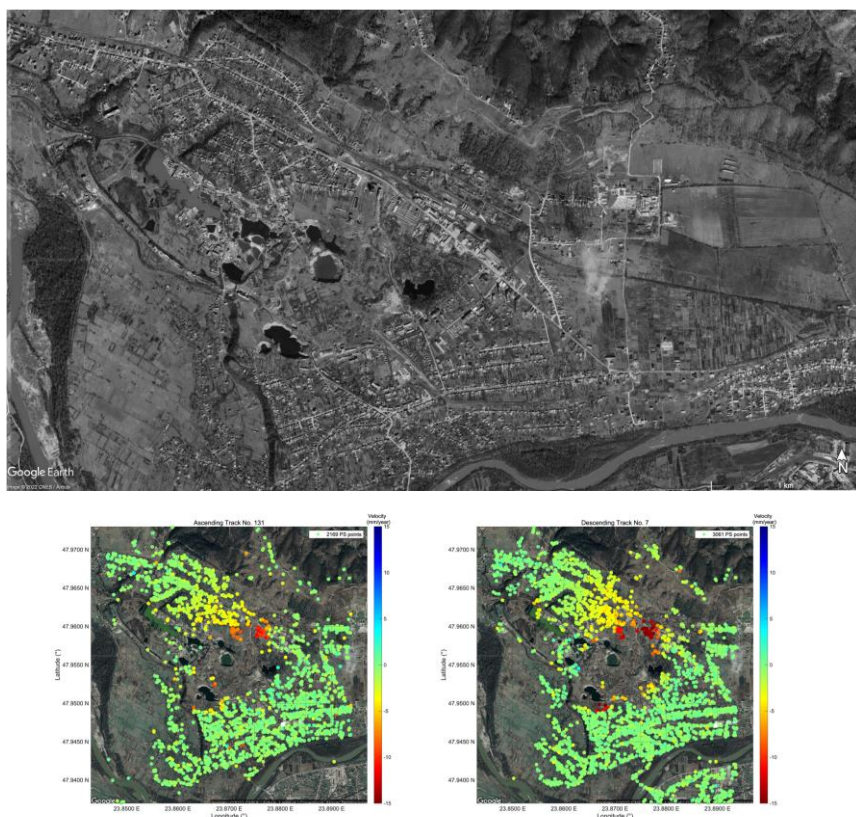


Рисунок. Карта швидкості зміщення по лінії прямої видимості (LOS) із спускової доріжки № 7

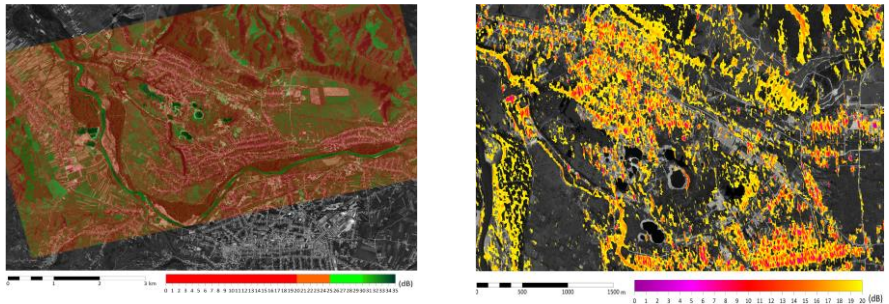


Рисунок. Відповідно до результатів виборчого каталітичного відновлення (SCR) з низхідного треку № 7 з використанням минулорічних відомостей Sentinel-1 для оцінки (202012-202112), критичні зони, які не можна використовувати, позначені як SCR < 20 дБ

У цій роботі територія навколо Солотвинського солерудника в Україні була проаналізована з використанням мультитемпоральної супутникової радіолокаційної інтерферометрії (MT-InSAR) і шляхом співвідношення сигналів/шумів (SCR). У період моніторингу з жовтня 2014 року по травень 2021 року були проаналізовані дві орбітальні траєкторії супутників Sentinel-1A/B із загальною кількістю 331 супутникових радіолокаційних зображень із висхідного треку 131 Sentinel-1 та 328 зображень із низхідного треку 7.

Застосування техніки MT-InSAR із припущенням лінійної моделі для оцінки деформацій дозволило забезпечити інтерферометрію постійного розсіювання у зоні моніторингу. Більша схильність до зміщення (> -2 см) була зареєстрована у центральній частині Солотвина. Значне прогресування цього процесу було відмічено в останні періоди моніторингу 2021 року. Ці вимірювання були підтверджені незалежним аналізом обох геометрій зондування (висхідної/низхідної). Центральна область може зазнавати значних фізичних змін поверхні, що перевищують рух, який можна виявити в одному пікселі (~2,8 см на 6 днів для Sentinel-1). Ці зміни спричинені такими діями, як видобуток корисних копалин або розкопування, побудова/знесення будівель або їх частини тощо. Щодо таких територій геотехнічними експертами, які знайомі зі структурою та її антропологічними чи природними змінами, що могли відбутися протягом періоду моніторингу з жовтня 2014 року по травень 2021 року, має бути проведений додатковий аналіз. Супутниковий моніторинг з використанням методів MT-InSAR слід застосовувати для аналізу за певний часовий інтервал або історичний

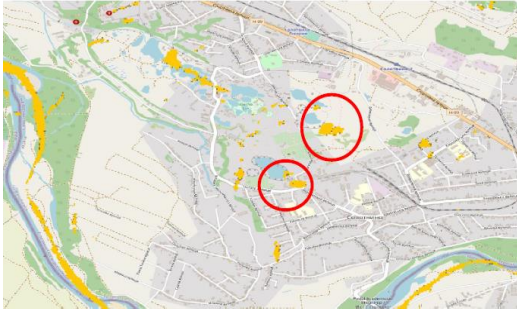
період, без істотних змін коефіцієнту відбиття об'єктів. Для точних інженерних завдань і аналізу об'єктів з потенційними ризиками деформації, рекомендується продовжувати кварталний моніторинг, використовуючи вимірювання штучного кутового рефлектора (ACR) і показників супутників з вищою роздільною здатністю, таких як TerraSAR-X/PAZ. Для більш глибоких спостережень та інтерпретації відомостей пропонується використовувати узагальнені в електронному сховищі файлів результати (додаток 1 до цього звіту).

Очікувані карти співвідношення сигналів/шумів (SCR) станцій повинні слугувати початковим орієнтиром для визначення належного положення штучних радіолокаційних рефлекторів. Карти SCR були створені з використанням моделювання показників кутового рефлектора трикутного тригранника з внутрішньою довжиною ніжки 1 м (і відповідним RCS 30 дБм²). Використовуючи просте порогове значення на картах SCR та враховуючи стандартне відхилення вимірювання фази С-діапазону Sentinel-1 0,5 мм, SCR має бути більше 20 дБ. Однак слід пам'ятати, що застосоване моделювання не враховує тепловий шум датчика та інші шуми, пов'язані з використанням InSAR, такі як залишкова затримка в атмосфері, немодельована деформація або орбітальні помилки. Крім того, оптимальне місце встановлення не повинно містити сильних точкових рефлекторів у межах плюс/мінус двох осередків із роздільною здатністю Sentinel-1 IW SLC (~40-50 м) за азимутом і дальністю відповідно. Рекомендується прийняти остаточне рішення щодо місця його встановлення, відповідно до інформації, отриманої на місці. Рефлектори повинні розташовуватися разом зі станціями GNSS з урахуванням мінімальних відхилень відстані.

Спостереження за рухами поверхні землі та осіданнями з інтерпретацією записів супутникових знімків.

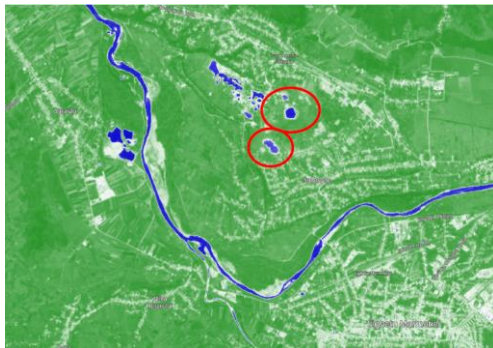
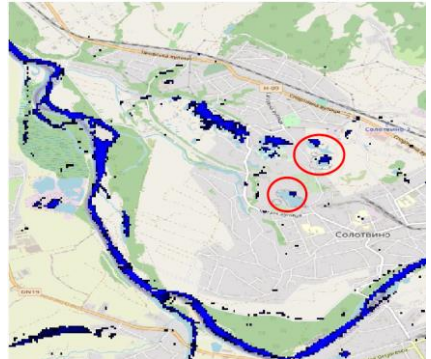
Це завдання було виконано з використанням зображень OpenStreetMap.

Відображено OpenStreetMap та NDWI₂₀₁₄ (нормалізований диференційний індекс води) мультиспектральне зображення з роздільною здатністю 10x10 м, Družica Spot 5, спостереження 5.12.2014



Зображення NDWI_2008 (нормалізований різницевий водний індекс) від Multispectral роздільна здатність зображення 10x10м, SPOT 4, Спостереження від 28.10.2008.

Зображення NDWI_2017 (нормалізований різницевий водний індекс) від Multispectral роздільна здатність зображення 10x10м, супутник Sentinel_2, ESA, спостереження від 29.09.2017



Зображення NDWI_2018 (нормалізований різницевий водний індекс) від Multispectral роздільна здатність зображення 10x10м, супутник Sentinel_2, ESA, спостереження від 10.12.2021

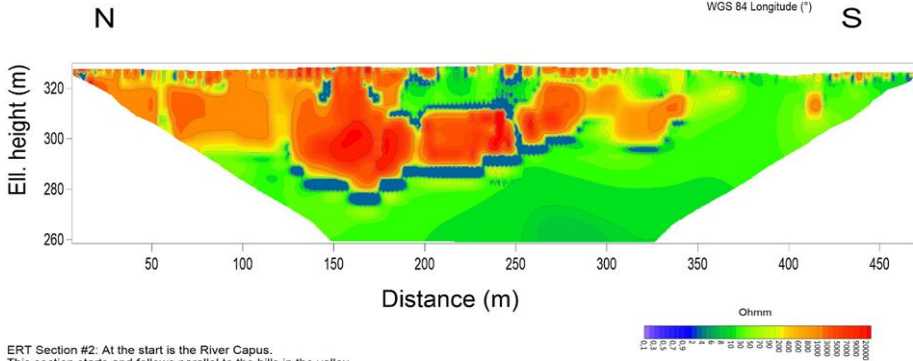
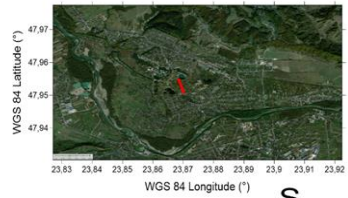
*ЗЕЛЕНЯКОВА Мартина,
заступник декана з питань розвитку співпраці та із закордонням
Кошицького технічного університету, доцент, інж., доктор філософії,
Будівельний факультет – Інститут екологічної інженерії (Словаччина)*

ПОЛЬОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ, АНАЛІЗ

Університет Мішкольца у рамках проєкту Ревітал був учасником кількох активних груп, в основному виконуючи вимірювання, пов'язані з базовим дослідженням із залученням субпідрядників. Польові вимірювання були проведені компанією GeoGold Kárpátia Ltd.

Геофізичні дослідження були здійснені з метою розширення геологічного картування району Солотвинського солерудника та доповнення приповерхневих геофізичних даних регіону, за результатами декількох проведених вимірювань з південного боку річки. Застосовувалися такі методи дослідження: мультиелектродна геоелектрична томографія (ERT), низькочастотне радіомагнітотелуричне зондування (VLF-RMT), електромагнетичне дослідження з вимірюванням у горизонтальному положенні (HLEM), гравіметричні та сейсмічні вимірювання. Серед застосованих геофізичних методів найбільш детальні та стійкі результати були отримані за допомогою електричних та електромагнітних вимірювань. На основі цих даних, які також слугували вхідними параметрами для створення геологічної та гідродинамічної 3D-моделей, було здійснено інтерпретацію геології та структури району соляної шахти.

ERT Section #10



ERT Section #2: At the start is the River Capus.
This section starts and follows parallel to the hills in the valley.
Horizontally homogeneous, continuous layers and sequences follow the regional geological regimes.

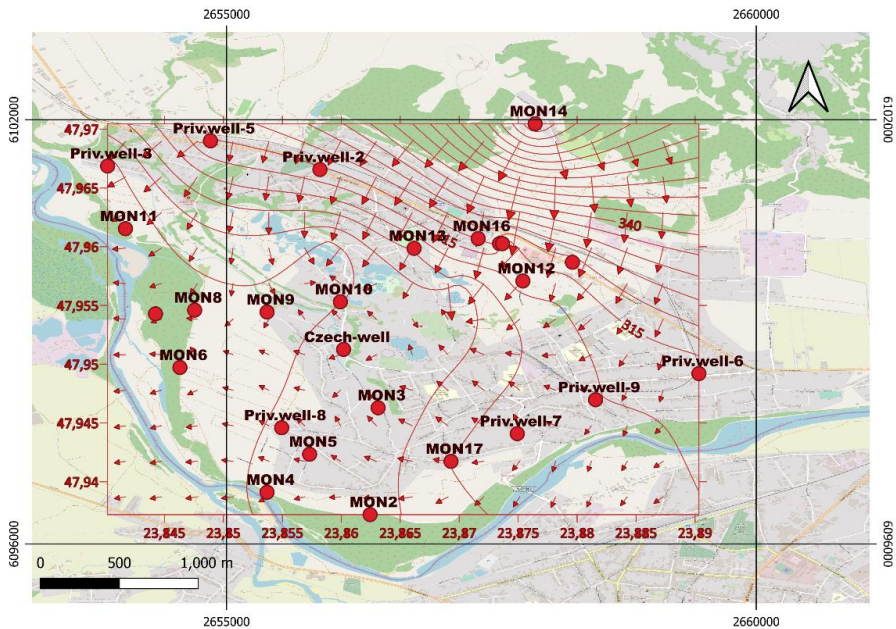
Спочатку соляний купол був покритий карстовим тілом та захищений від будь-якого забруднення. Протягом століть, внаслідок проведення розкопок соляних порід, зроблених спочатку на поверхні, а пізніше, у зв'язку з розвитком гірничої техніки та свердловинної техніки буріння – на більшій глибині, захисні шари (палах) були частково зруйновані та зникли. Через це поверхня соляного купола стала відкритою, що спричинило її безпосередній контакт з вологою, яка є у повітрі, та опадами, а також ближчий контакт із проточною водою та поверхневими підземними водами, у результаті чого розпочалася карстифікація солі. Внаслідок розчинення солі, почали з'являтися воронки, котловини, кратери і, нарешті, руйнування шахт.

Для розуміння гідрогеологічних умов на досліджуваній території була створена група свердловин, що складається з 15 п'езометричних свердловин (свердловини з позначкою MON), в яких протягом року проводилися регулярні/безперервні вимірювання рівня води та її хімічного складу. Вимірювання також проводилися у колодязях аналогічної глибини (6-15 м), що розташовані на території приватних житлових садиб (всього 8). За результатами проведення вимірювань було виявлено відмінності, що залежать від сезону. Напрямок течії – з півночі на південь, тобто, підземні води течуть зі схилу гори Магури до річки Тиса, але локально на території колишньої шахти напрямок змінюється і повертає зі сходу на захід.

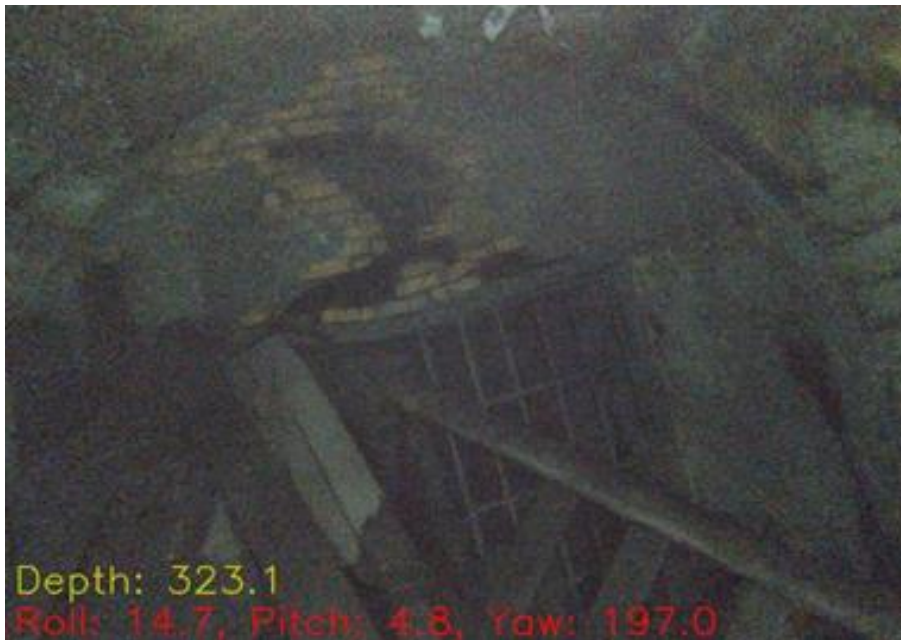
У досліджуваному районі було проаналізовано хімічний склад води з кількох джерел поверхневих вод (Чорний Мур, кратерні озера, шахтні стовбури).

Показники електропровідності, виміряні біля поверхні озера Чорний Мур, практично не змінилися за 5 років. Це, очевидно, свідчить про стабільність ситуації. На основі цих показників можна припустити наявність гідравлічного зв'язку між озером Чорний Мур і 10-им шахтним стовбуром 9-ої шахти.

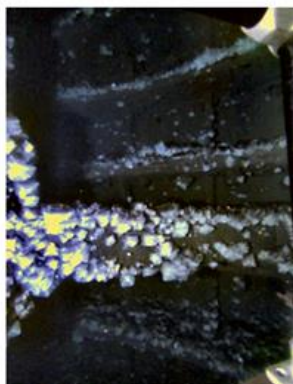
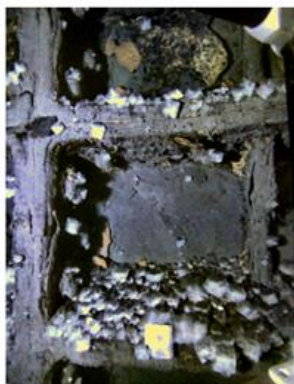
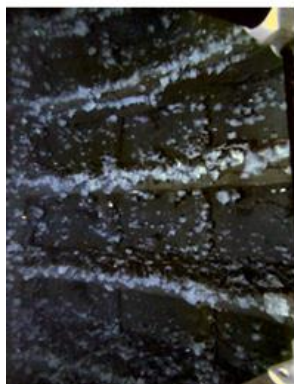
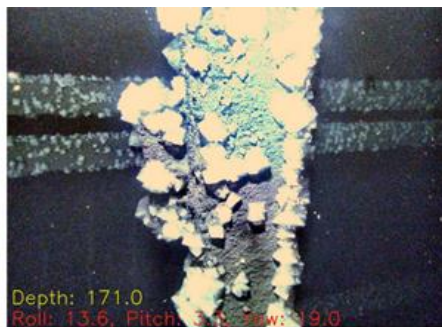
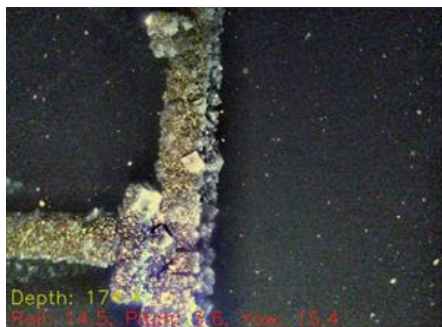
Швидше за все, внаслідок насичення сіллю кратерних озер на глибині виникли стабілізовані умови, але в приповерхневій зоні очікуються подальші тектонічні рухи поверхні. Якщо не станеться якась раптова природна зміна (наприклад, екстремальні явища), з часом їх інтенсивність асимптотично зменшуватиметься. Заповнене водою кратерне озеро шахти 7 прямо контактує з кришкою соляного купола, у результаті чого озеро стало повністю насичене сіллю. Тести електрохімічного складу води показують, що кратерне озеро, яке утворилося на місці шахти 8, ще не досягло свого рівноважного стану ні статично, ні з точки зору хімії води.



За допомогою водолазного робота UX-1Nеро компанія UNEXMIN Georobotics Ltd. виготовляє 3D-карти, знімає на території Солотвинського солерудника відео у високій роздільній здатності та оцінює результати занурень. Крім того, робот проводив відбір проб води та вимірювання параметрів (електропровідність, водневий показник, фугитивність кисню, температура, тиск). Шахта 10 була закартована на глибину 435 м (47,5 бар); загалом були 3 рівні бічного проходу, з яких із шахтного стовбура доступ був відкритий лише на 366 м. Під час картографування бічного проходу робот досяг позначки у 55 м, однак далі прохід був заблокований.

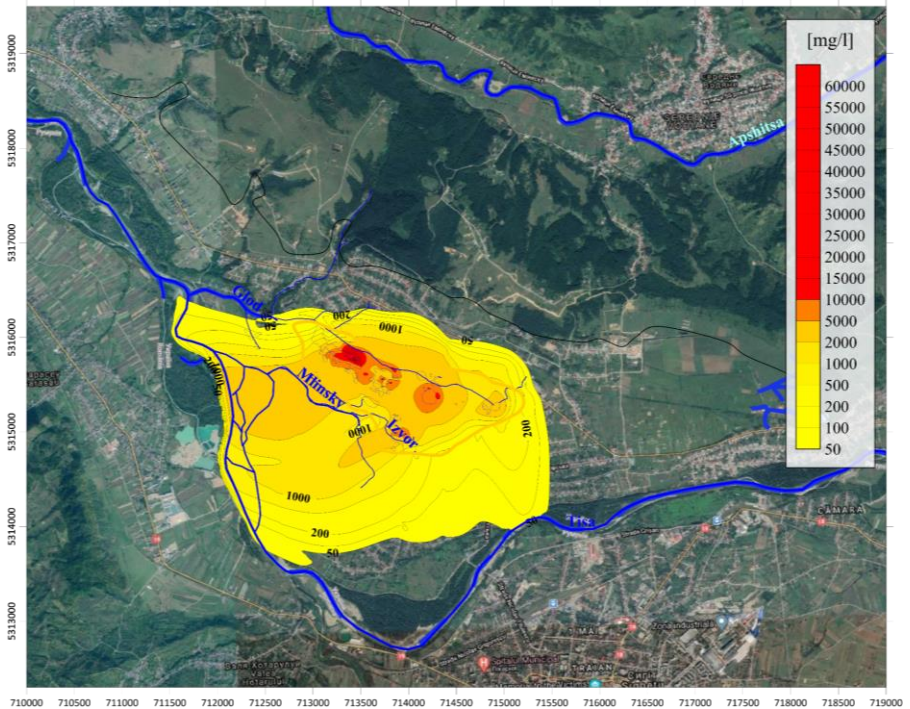


Шахтні стовбури 9 і 10 виглядають структурно добре, але цього не можна сказати про бічні тунелі та зони поза їх межами. У насиченій сіллю водоймі, яка обстежена нижче рівня 145 м, спостерігається утворення кристалів солі на стінці шахти та металевих балках на глибині 158 м. Рівень галоклина змінюється залежно від сезону, але тільки до глибини 158 м. Робот зафіксував різницю тиску між шахтними стовбурами 9 і 10 у 1–1,5 бар. Цей показник означає обмежену проникність між двома шахтами, про що частково свідчить закупореність, яка спостерігається у бічних проходах.



Ґрунтується на основі гідродинамічної моделі Інституту геологічних наук НАН України, моделі транспортування хлоридів, розробленої Gamma-Geo Ltd та Університетом Мішкольца.

На підставі чисельних розрахунків ми можемо стверджувати, що поточне насичення берегових шарів річки сіллю походить з двох джерел: 13-15 м³ насичених розсільних вод, що просочуються з шахт, і вода, що просочується зі ставків, які знаходяться у порожнині колишньої заваленої шахти. Максимальний викид хлориду натрію з шахт становить 4600 кг/добу і 6600 кг/добу з солоних озер, тобто загалом у річку Тиса потрапляє 11 200 кг кам'яної солі. Якщо припустити, що щільність кам'яної солі становить 2100 кг/м³, то це призведе до щоденного вимивання 5-5,5 м³ кам'яної солі та утворення майже 2000 м³ кавітації під поверхнею на рік. Розрахунки наслідків довгострокової концентрації хлоридів можна побачити на малюнку нижче.

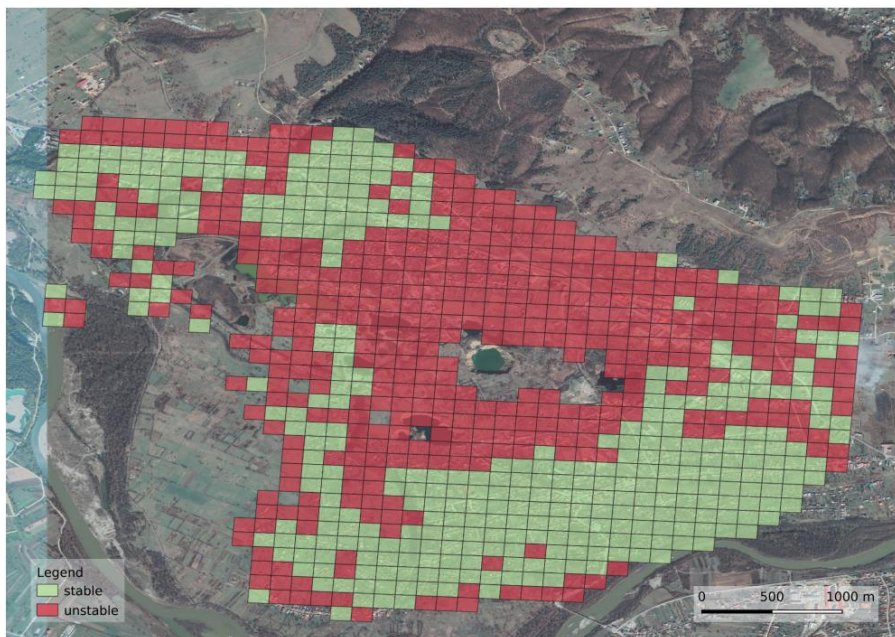


Для моніторингу змін руху поверхні у просторі та часі були використані архівні дані супутникової системи EU ENVISAT за 1992-2000 та 2002-2010 роки. Оцінка моніторингу виконана Datelite Ltd. Руйнування шахти із найбільшим зсувом поверхні можна віднести до останнього періоду.

За результатами оцінки не було виявлено суттєвої різниці в просіданні ґрунту між періодами: 1) з 1992 по 2000 роки, 2) із 2002 по 2010 роки та з 2014 по 2021 роки. В обидва періоди чітко видно, що територією з дуже високим рівнем ризику є колишня соляна шахта, соляні ставки та кількостметрові смуги, що їх розмежують, якщо це впливає на забудовані території. Це означає осідання до 25 мм/рік (очевидно, ці показники є більш високими з країв утворених кратерів). Під найбільшою загрозою перебуває постачальник комунальних послуг – завод електророзподільних мереж, розташований на території шахти 9 (біля шахти 10), у північно-східній частині зони високого ризику.

Базуючись на таких непрямих доказах, як хімічні аналізи води, можна зробити висновок, що процес осідання просувається

асимптотично до нового рівноважного стану; більшого опускання, швидше за все, не очікується.



Мапа стабільності Envisat у період між 2014-2021 роками (DatElite Ltd)

Маркування: зелений=стабільний, червоний=нестабільний

Вся територія міста Сігету Мармацієй є у стабільному стані, і тут немає жодного району, де б проявлялися географічно впізнавані патерни тектонічного руху поверхні. У рамках проекту була створена база даних GIS, яка, окрім архівних даних, також містить результати вимірювань базового дослідження, проведеного у ході його реалізації. База даних доступна як для партнерів проекту, так і для громадськості.

*СЮЧ Пейтер,
проректор Мішкольцького університету (Угорщина),
професор, доктор наук,*

*МІКІТА Вікторія,
викладач Інституту управління навколишнього середовища
Мішкольцького університету доктор наук (Угорщина)*

КОМПЛЕКСНА СИСТЕМА ГЕОМОНІТОРИНГУ ДЛЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ СОЛОТВИНА

Виходячи з того, що перспективи розвитку Солотвина місцева громада пов'язує з використанням покладів кам'яної солі (Солотвинське родовище кам'яної солі) та техногенних розсолів, які заповнюють провалля над гірничими виробками, роботи Інституту спрямовувались на визначення перспектив освоєння природних ресурсів на основі зниження ризиків.

Інститут виконував завдання

- розробка геологічної моделі з проявами небезпечних екзогенних геологічних та техногенно-геологічних процесів в смт Солотвино;
- оцінка вертикальних зміщень земної поверхні за допомогою інтерферометричної обробки даних супутникового радіолокаційного моніторингу;
- гідродинамічне моделювання;
- розробка концептуальної схеми комплексного моніторингу території для її ревіталізації та безпечного використання природних ресурсів

Побудова геологічної моделі з проявами небезпечних екзогенних геологічних та техногенно-геологічних процесів в смт. Солотвино (Рис. 1)

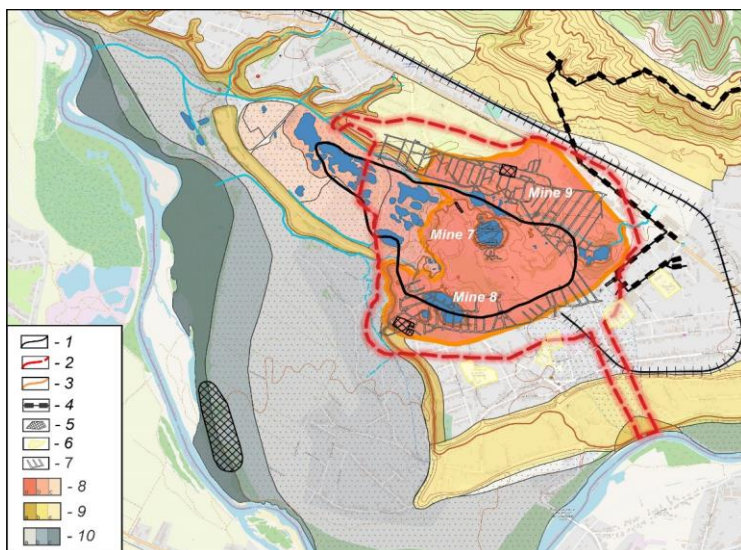


Рисунок 1. Ситуативний план Солотвинського родовища кам'яної солі та прилеглих територій із зоною техногенного впливу гірничих робіт з видобутку кам'яної солі та прояву небезпечних екзогенних геологічних процесів: 1 – контур солянокупольної структури по поверхні алювіальних відкладів; 2 – зона техногенного впливу шахт з видобутку кам'яної солі та прояву небезпечних екзогенних геологічних процесів; 3 – зона активного техногенного впливу гірничовидобувних робіт та прояву небезпечних екзогенних геологічних процесів; 4 – газопровід; 5 – об'єкти критичної інфраструктури (електропідстанція, водозабір на насосна станція, очисні споруди каналізації; звалище побутових відходів); 6 – дошкільний та шкільні заклади освіти; 7 – контури гірничих виробок. Ризики небезпечних природних та природно-техногенних процесів (8-10): 8 – карстових процесів: катастрофічний (а), значний (б), помірний (в), незначний (г); 9 – схилових процесів: значний (а), помірний (б), незначний (в); 10 – затоплення паводками та повеннями: значний (а); помірний (б), незначний (в).

Виконано:

– польові роботи з обстеження проявів небезпечних екзогенних геологічних та техногенно-геологічних процесів в смт Солотвино та завірка результатів оцінки деформацій земної поверхні;

– моніторинг вертикальних деформацій земної поверхні за результатами інтерферометричної обробки супутникових радіолокаційних даних DInSAR;

– розробку комплексної геологічної моделі солянокупольної структури.

Встановлено: динаміку розвитку просідань земної поверхні (Рис. 2), розширення площі провалів та воронок, утворення неглибоких провалів над галереями дренажної штольневої системи; для уточнення базової геологічної моделі для гідродинамічного моделювання задокументовано розломні зони у відслоненнях тувів, побудовано карти четвертинних утворень, які екранують соляні породи, розроблено інші елементи базової інтеграційної геологічної моделі.

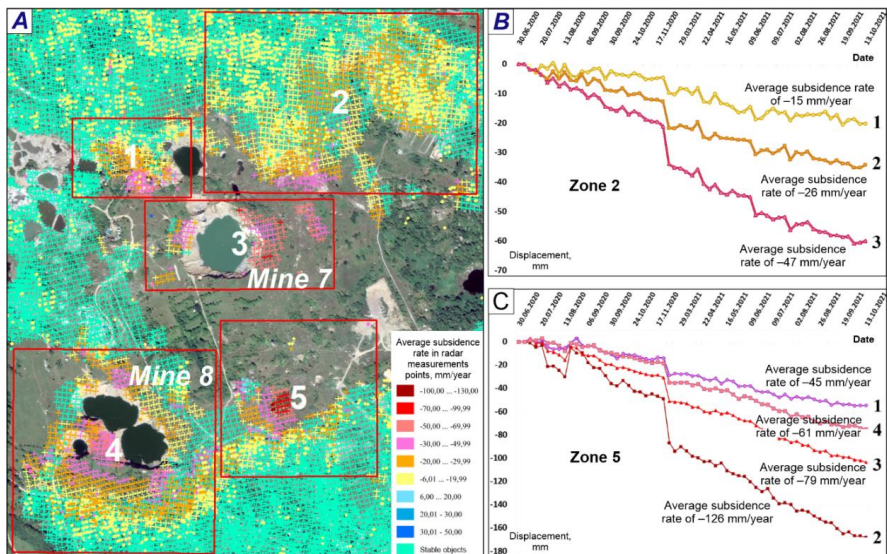


Рисунок 2. Оцінка вертикальних зміщень земної поверхні за допомогою інтерферометричної обробки даних супутникового радіолокаційного моніторингу (PS&SBAS) за період з 06.2020 р. по 06.2021 р. (з використанням даних Центру прийому і обробки спеціальної інформації та контролю навігаційного поля Державного космічного агентства України): А – зони концентрованих деформацій; Б – графік вертикальних зміщень зони концентрованих деформацій №2, максимальна середня швидкість осідання –47 мм/рік; С – графік вертикальних зміщень зони концентрованих деформацій №5, максимальна середня швидкість осідання –126 мм/рік.

Виявлено закономірності поширення вертикальних зміщень земної поверхні, які фіксуються не тільки у контурі гірничих робіт, а за їх межами (Рис. 3); оцінено накопичені деформації земної поверхні в зонах об'єктів критичної інфраструктури.

Актуалізовано карту проявів небезпечних екзогенних геологічних та техногенно-геологічних процесів в смт Солотвино.

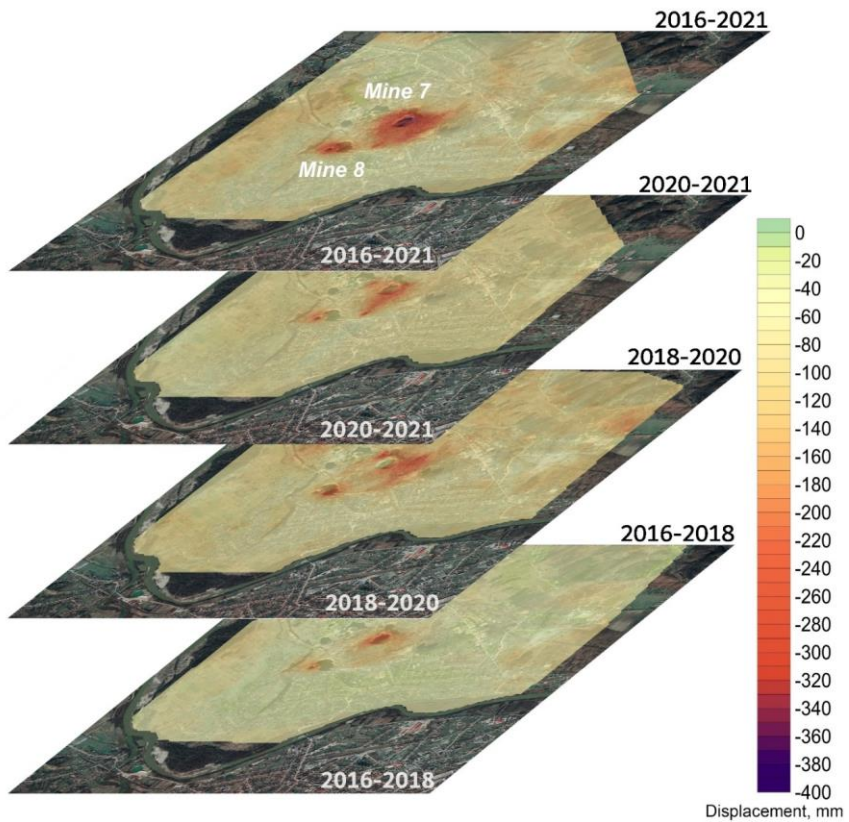


Рисунок 3. Динаміка зміни максимальних вертикальних зміщень земної поверхні

Гідродинамічне моделювання

Створено гідродинамічну модель Солотвинського родовища кам'яної солі та прилеглих територій (Рис. 4) на основі уточнених фільтраційних параметрів надсольових відкладів Солотвинської солянокупольної структури, та осучасненої бази геологічних даних та базової інтеграційної геологічної моделі.

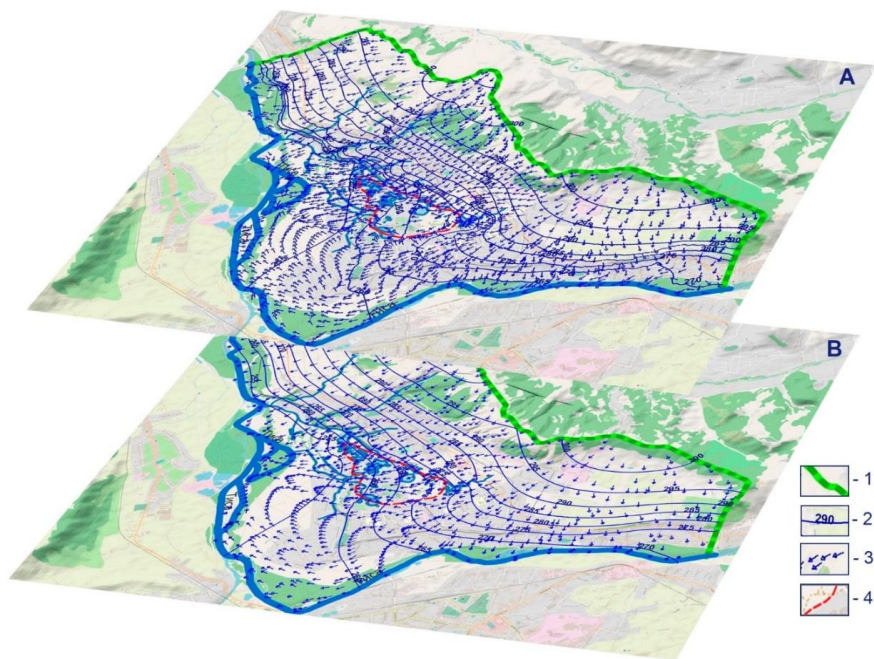


Рисунок 4. Гідродинамічна модель Солотвинського родовища кам'яної солі та прилеглих територій: А – четвертинний водоносний горизонт з ізолініями рівня підземних вод та векторами дійсної швидкості потоку; В – тортонський водоносний горизонт з ізолініями рівня підземних вод та векторами дійсної швидкості потоку. 1 – вододіл; 2 – ізолінії рівня підземних вод; 3 – векторами дійсної швидкості потоку; 4 – контур солянокупольної структури по поверхні алювіальних відкладів.

На основі отриманих результатів досліджень (польових спостережень, аналізу даних супутникового радіолокаційного моніторингу, геологічного та гідродинамічного моделювання) розроблено план комплексної системи моніторингу, яка вписується в більш широку регіональну структуру для відстеження якісних і кількісних змін поверхневих і підземних вод та деформацій земної поверхні в районі Солотвина (Рис. 5).

Комплексна система моніторингу

Функціонування системи моніторингу необхідно для сталого використання природних ресурсів (рапи та кам'яної солі) та забезпечення від транскордонного поширення забруднення поверхневих і підземних вод.

План комплексної системи моніторингу включає: - моніторинг деформацій земної поверхні за допомогою DInSAR; - гідрологічний та гідрогеологічний моніторинг (кількість та якість вод першого та другого водоносних горизонтів); - геофізичну зйомку, що включає мікрогравіку, геоелектричні та сейсмічні дослідження; - геодезична зйомка; - польові обстеження розвитку небезпечних геологічних процесів; - моделювання (актуалізація гідродинамічної моделі); - оцінка ризиків.

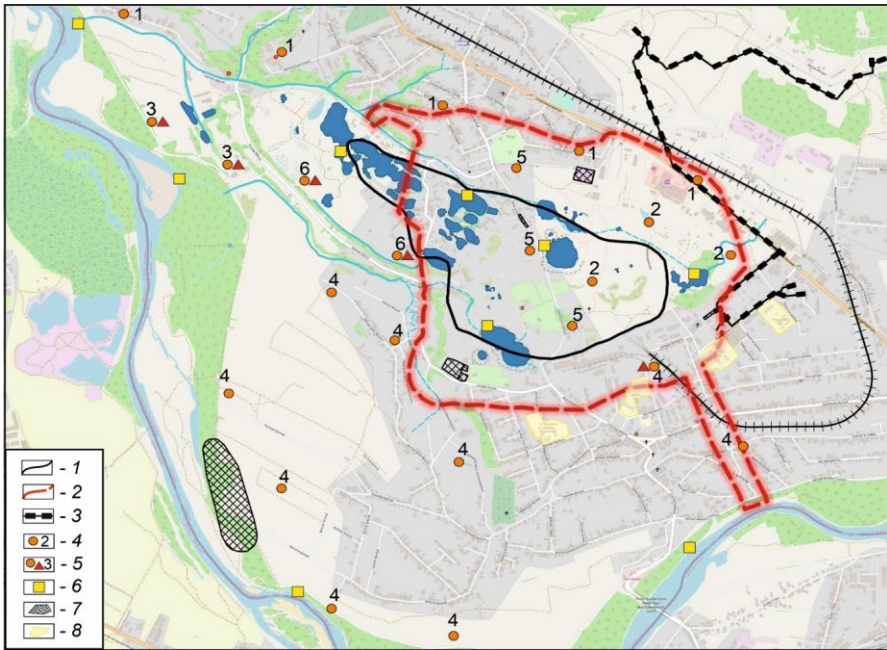


Рисунок 5. Схема системи комплексного моніторингу Солотвинського родовища кам'яної солі та прилеглих територій: 1 – контур солянокупольної структури на поверхні алювіальних відкладів; 2 – зона техногенного впливу шахт з видобутку кам'яної солі та появу небезпечних екзогенних геологічних процесів; 3 – газопровід; 4 – проектний моніторинговий гідрогеологічний пункт спостереження (свердловина) та номер типу зведеного геологічного розрізу за

літологічними даними; 5 – проектний моніторинговий гідрогеологічний пункт спостереження (шахтний колодязь, який складається з двох свердловин: на четвертинний ґрунтовий та тортонський тріщинний водоносні горизонти) та номер типу зведеного геологічного розрізу за літологічними даними; 6 – проектний моніторинговий гідрологічний пункт спостереження; 7 – об’єкти критичної інфраструктури; 8 – дошкільний та шкільні заклади освіти.

Впровадження системи моніторингу з інтегрованою постійно діючою гідродинамічною моделлю має стати інструментом управління використанням природних ресурсів смт. Солотвино – рапи та покладів кам’яної солі.

*ШЕХУНОВА Стелла,
професор, доктор геологічних наук, академік НАН України, директор
Інституту геологічних наук,*

*СТАДНІЧЕНКО Світлана,
кандидат геологічних наук, старший науковий співробітник Інституту
геологічних наук НАН України*

МОЖЛИВІ МАЙБУТНІ ДІЇ

Солотвино – перлина Закарпаття – відоме з давніх часів як джерело солі для багатьох народів Європи. Шахтарське поселення з багатомісячною історією, сіль в Солотвино видобували з часів римської імперії.

Цілюща дія солоної води на озерах та в купальнях використовується з дев'ятого століття. У 1968 році була відкрита перша спелеотерапевтична лікарня. Внаслідок помилок, допущених за радянської влади в експлуатації шахт і видобутку солі з початку 2000-х років на території солерудника погіршився стан навколишнього природного середовища та за своїми ознаками ситуація класифікувалася як надзвичайна ситуація державного рівня.

Цей проєкт був дуже важливим для селища Солотвино, тому що з цим проєктом почнеться розв'язання екологічних проблем селища, що виникли в результаті надзвичайної ситуації на території діяльності Солотвинського солерудника. Це перший проєкт, що спрямований на екологічну оцінку можливостей відновлення природних ресурсів у Солотвино через підготовку комплексної системи моніторингу.

Солотвинська селищна рада, як один із партнерів проєкту мала свої завдання: організацію перебування учасників проєкту у Солотвино, отримання необхідних дозволів для наукових досліджень на території Солотвино, отримання дозволів на доступ до прикордонної зони, супровід учасників по місцевості і т.д. Дуже важливим для проєкту була закупівля цифрових реєстраторів показників рівня рідини, провідності та температури. На основі цих реєстраторів було побудовано систему моніторингу.

Цей проєкт початок шляху до відновлення солевидобутку, відновлення спелеотерапії!

Солотвинська селищна рада

ПРЕЗЕНТАЦІЯ КОНЦЕПТУАЛЬНОЇ СТРАТЕГІЇ

Ця Стратегічна Концепція проєкту та документація щодо комплексної системи моніторингу є доброю та важливою основою для осіб, які приймають рішення на всіх рівнях. Робота проєкту ґрунтується на результатах діяльності кількох місій, проведених раніше угорською владою, Європейською Командою захисту громадян та проєктом Вдосконалення заходів зі зменшення ризиків стихійних лих у Закарпатській області (ImProDiReT).

Зібрані показники також повинні слугувати основою для майбутніх розробок і дій (нові елементи вдосконаленої системи моніторингу, реабілітаційні заходи, нові інвестиційні можливості, боротьба зі стихійними лихами тощо), але їх необхідно планувати з урахуванням середньострокової та довгострокової перспектив, без шкоди навколишньому середовищу та враховуючи питання безпеки мешканців Солотвина. Завжди є прагнення відновити видобуток солі, але без спільних і скоординованих зусиль, досягнення позитивних результатів не передбачається.



Мапа досліджуваної території соляних куполів з озерами (прісними та солоними), струмками, дренажною системою (GeoGold Ltd.)

У результаті реалізації проєкту було створено численні карти, показники, звіти тощо, а Стратегічна Концепція містить найважливіші

елементи роботи, виконаної усіма партнерами та субпідрядниками проекту. Для цілісної та завершеної картини зацікавленій стороні необхідно ознайомитися зі Стратегічною Концепцією та навіть вивчити конкретні результати відповідної діяльності.

Проблеми гірничодобувної діяльності у Солотвині в основному почалися у 60-х – 70-х роках. Кількість і швидкість шкідливих процесів також зросла внаслідок збільшення обсягу видобутку солі з 0,5 млн тон на рік до 1 млн тон на рік та через використання вибухових речовин у глибоких шахтах.

Застосування вибухівки також збільшило кількість екологічних катастроф, причини яких можна розділити на три основні групи.

1) Порушення природного водонепроникного шару біля поверхні (шар солоної глини товщиною в кілька метрів нижче четвертинного гравійно-піщаного шару алювіальних відкладів, який місцеві жителі називають «палах») через гірничодобувну діяльність і дослідницькі буріння.

2) Повна відсутність технічного обслуговування системи дренажної мережі (осушувальної системи на середній глибині 30 м, яка оточує територію культивованої шахти, та спрямована на відведення підземних вод четвертинного гравійно-піщаного шару біля поверхні, розташованого над шаром «палах», який забезпечує природний захист соляного купола), що була створена близько ста років тому. Управління системою дренажної мережі, осушення та проведення профілактичних робіт припинилося у 70-х роках, що спричинило неправильне вирішення існуючих проблем.

3) Виконання вибухових робіт із порушенням процедур для збільшення видобутку солі.

Наслідки:

а) потрапляння води у шахти, процеси розчинення у соляному куполі;

б) утворення тріщин і озер у шахтах, які виходять на поверхню;

в) виявлене щорічне опускання рівня ґрунту на 1-2,5 см/рік.

Аналіз місцевих та територіальних особливостей Солотвина дає змогу зробити висновки та надати рекомендації, демонструючи комплексну картину факторів, завдяки яким формується територіальний, економічний та соціальний зв'язок населення. Важливо

глибше зрозуміти контекст складних міжгалузевих проблем, які формують сьогодення Солотвина, оскільки вони тісно пов'язані з видобутком солі та екологічними ризиками, оціненими в інших частинах документа.

Можна сказати, що на цей час максимальний викид хлориду натрію з шахт становить 4600 кг/добу і 6600 кг/добу з солоних озер, тобто загалом у річку Тиса потрапляє 11 200 кг кам'яної солі. Якщо припустити, що щільність кам'яної солі становить 2100 кг/м³, то це призведе до щоденного вимивання 5-5,5 м³ кам'яної солі та означатиме майже 2000 м³ кавітації під поверхнею у рік.

Загальна методологія РЕВІТАЛ 1 складається із кабінетного дослідження, використання статистичних показників і проведення серії інтерв'ю, візитів на місця та проведення вимірювань, а також збору та аналізу даних. Під час камерального аналізу здійснювався пошук інформації про Солотвино шляхом дослідження, вивчення та узагальнення бібліографії за темою соціально-економічного життя Солотвина. Статистичні дані отримані з офіційних джерел Управління статистики України, а також з інших баз даних, створених упродовж років у рамках ТКС¹ та транснаціональних проектів і регіонального аналізу, а також із локальних джерел. Проте слід зазначити, що через відсутність оновлених показників на локальному та регіональному рівнях, іноді виникали проблеми зі збором інформації.

Можна констатувати, що урбанізація Солотвина значною мірою залежить від рівня використання місцевих надбань та аспектів його розташування.

Охорона навколишнього середовища має велике значення, оскільки забруднення ґрунтових вод і самої Тиси впливає на ширший транснаціональний річковий басейн. Це потребує спільних ініціатив, принаймні у сферах управління водними ресурсами та охорони навколишнього середовища. **Проблема поводження з відходами** у Солотвині не вирішена, що вимагає подальших дій.

Розвиток Солотвина та будь-яке втручання у навколишнє середовище неможливо здійснювати без урахування поліетнічного характеру населення, яке у майбутньому можна було б визначати як основу для соціально-економічних поліпшень.

Інтерпретацію супутникових знімків проведено з метою встановлення основних закономірностей деформацій земної поверхні

¹ Транскордонна співпраця, також відома як Interreg A

для подальшої оцінки ризиків, пов'язаних з розвитком небезпечних природних і техногенних геологічних процесів у Солотвинській солянокупольній структурі та на прилеглих територіях.

Оцінку вертикальних зміщень об'єктів і земної поверхні проводили за допомогою інтерферометричної обробки показників супутникового радіолокаційного моніторингу за допомогою супутникових групувань Sentinel-1A та 1B (дані аналізу DINSAR за 2016-2021 роки, підхід SBAS, Copernicus EMSN-030, EMSN- 064; підхід PS+SBAS, Центр прийому та обробки спеціальної інформації та навігаційного контролю, Україна).

Площа досліджень становила 33 км². Створено кінцеві інформаційні продукти (растрові та векторні), які дали змогу зробити аналіз показників у розрізі просторових та часових змін. Підготовка та попередня обробка показників РЛС та ДЗЗ проводилась із застосуванням програмного забезпечення ENVI, модулів SarScape, а також операцій тематичної обробки за результатами інтерферометрії (програмне забезпечення ArcGis).

За останніми показниками супутникового радіолокаційного моніторингу (за період з 30.06.2020 по 12.10.2021) виконано оцінку вертикальних деформацій поверхні землі, будівель та споруд у межах Солотвина. Встановлено, що зони просідання біля шахти № 7, 8, 9 є великими за площею, найбільше просідання відзначається у її центрі, а при віддаленні від центру, інтенсивність просідання поверхні землі поступово зменшується. **Територію шахти №7, а також західну та східну частини площі шахти №8 визнано небезпечними.**

За результатами ретроспективного вивчення досліджуваної території визначено зони зосереджених деформацій та динаміку просідання в точках радіолокаційних вимірювань. **Встановлено, що шахти № 7, 8 та 9 створюють загрозу техногенній безпеці селища Солотвино.**

Висновки, отримані у результаті аналізу всіх показників, необхідно використовувати для постійної оцінки ризиків у Солотвинському солеруднику та на прилеглих територіях. Для забезпечення безпеки життєдіяльності в Солотвині, результати необхідно використати для розвитку території та створення системи моніторингу.

Використовуючи кутникові відбивачі та технологію InSAR, можна створити систему раннього попередження над територією. Ця система моніторингу на основі InSAR може значно поліпшити умови громадської безпеки та надати об'єктивну, прозору інформацію про деформацію поверхні, яку можна опрацювати за допомогою будь-якого вебдодатку

GIS. Цей додаток можна встановити на смартфоні місцевих жителів, і вони зможуть отримувати інформацію безпосередньо про свій мікрорайон.

Згідно з рівнем гідравлічного градієнту, вода з атмосферних опадів і системи підземних вод безперервно потрапляє у Тису з шарів алювіальних відкладів високопроникної гальки, гравію, піщаного гравію та піску, переважно зі сходу на захід, проходячи через соляний купол.

Спочатку соляний купол був покритий кількома метрами шарів солоної глини (палах), що захищали його від будь-якої вологи та/або води. Але **через видобуток корисних копалин, який зрештою спричинив серйозне руйнування поверхні та, безпосередньо, захисного шару, утворилися так звані «гідравлічні вікна», що призвело до шкідливих і фатальних процесів.**



Вид на сьогоднішні покинуті шахти (промарковані білим) з шахтними камерами та шахтними виробками, з точки зору потенційної та реальної загрози наповнення водою підземних просторів (*Geogold Ltd*).

Архіви зображень ERS та Envisat SAR, що охоплюють вищезазначений часовий проміжок, були оброблені, а історія інтерферометричних деформацій області була досліджена. Деякі підсумкові **результати** перелічені нижче:

- У центральній частині Солотвина та на прилеглих південних схилах Магури протягом обох десятиліть, були виявлені як швидко рухомі поверхні, так і поверхні, що постійно залишалися стабільними.

- Рівні ризику були розраховані на основі інтерферометричних і геологічних показників, показуючи, що високий рівень ризику виникає на куполі та навколишній території, тоді як рівень ризику зменшується з віддаленням від центру соляного купола.

На розчинення Солотвинського соляного купола впливають, перш за все, забір води та стічні води, а також збільшення запасів прісної води, кількість та інтенсивність опадів (особливо накопичені опади у зимовий період), стік природних вод, що надходять від напрямку хребта Магури та антропогенний вплив.

Показники свідчать про недостатність фінансування системи охорони навколишнього середовища у Тячівському районі. Незважаючи на те, що **Солотвино** має значні поклади кам'яної солі та соляний карст, морфологія яких швидко змінюється, ці об'єкти не охороняються, а їх використання не лімітоване жодними обмеженнями. До того ж, **ці соляні ресурси є не просто спадщиною чи туристичною пам'яткою, але й джерелом величезної екологічної та гідрогеологічної небезпеки.**

За допомогою водозлазного робота UX-1Nepo компанія UNEXMIN Georobotics Ltd. виготовляє 3D-карти, знімає на території Солотвинського солерудника відео у високій роздільній здатності та оцінює результати занурень. Крім того, робот проводив відбір проб води та вимірювання параметрів (електропровідність, водневий показник, фугітивність кисню, температура, тиск).

Процвітання Солотвина, зокрема туризму, сільського господарства та видобутку корисних копалин значною мірою залежить від зменшення екологічних, антропогенних ризиків і небезпек, які перешкоджають успіху селища міського типу у переході на більш стабільний і новий шлях розвитку. Без комплексного територіально інтегрованого втручання Солотвино не зможе використовувати свій територіальний капітал та місцеві надбання, а проблеми затягнуться на більш тривалий термін.

Воронки, соляні ресурси, розсільні води і ґрунт **піддаються загрозі забруднення.** Особливо туризм (з медичними центрами, пляжами та житлом) і сільське господарство можуть зазнати кризи, що безпосередньо вплине на місцеву громаду.

Небезпеку спричиняє стихійне та неузгоджене управління рекреаційною територією, а також близькість до покинутих шахт.

Забруднення воронкок через незаконне засмічення безпосередньо впливає на якість води на пляжах. Стихійне забруднення води в озері Кунікунда підірве репутацію Солотвина та зменшить кількість майбутніх туристів. На жаль, через покинуті шахти та безвідповідальну поведінку місцевих жителів, ці соляні ресурси були забруднені, **що зменшує майбутній потенціал туризму**. Щоб уникнути цього, вкрай важливо створити ефективну систему поводження з відходами та припинити незаконне викидання сміття. Ще одну небезпеку може становити територія гірничодобувного району, оскільки відвідувачі часто ходять між воронками просто з цікавості або щоб скоротити шлях. Крім того, **постійна небезпека зсуву та просідання ґрунту відлякує нових інвесторів і компанії, оскільки вони не хочуть вкладати інвестиції у зону ризику**.

На основі уточнених параметрів дослідження структури соляних покладів Солотвинського солерудника та оновленої бази показників створено модернізовану та вдосконалену гідродинамічну модель району Солотвинського солерудника та його околиць, що дозволило прогнозувати напрямок та швидкість потоку підземних вод.

Зона впливу не може бути обмежена свердловинами, хіба що шляхом штучного зменшення витрат води через дно озер, утворених обваленням існуючих соляних шахт і безперервного формування, шляхом звуження або блокування виходів ям і шахт навіть нижче підземних водних об'єктів. Солоня вода в затоплених шахтах повністю урівноважується шляхом насичення сіллю, і тому подальше опріснення викликане лише проникненням води через тектонічні розломи. Це зовсім не перешкоджатиме використанню соляних ставків у туристичних цілях, а лише зменшить солоне навантаження на плейстоценовий береговий шар річки та потоки Глод і Млинський, які його скидають. Отже, концентрація солі в кратерних озерах (над зруйнованими шахтними камерами) буде трохи зменшена, а рівень ґрунтових вод – суттєво знижений. У зоні впливу соляного купола видобуток колодезяної води має бути припинений або заборонений.

Розчинення солі у глибоких шарах має бути обмежене, інакше це призведе до явища, коли все більша кількість солі розчинятиметься вздовж усе більших поверхонь, викликаючи утворення більших підземних порожнин та прискорюючи просідання. Зупинити процес можна лише радикальним зменшенням глибинного стоку підземних вод, що є можливим завдяки створенню належних геологічних і гідрогеологічних умов. Розумні рішення можуть уповільнити процес, а значні штучні

втручання можуть його повністю зменшити, та починати це потрібно якомога швидше, поки ще можна зменшити процес, і екологічна шкода не псує умови життя населення у регіоні.

Враховуючи складну геоекологічну обстановку, першочерговим завданням є розробка та функціонування постійної комплексної системи моніторингу природно-техногенної геосистеми Солотвина, яка дасть можливість своєчасно виявляти та оцінювати небезпечні зміни геологічного стану, а також середовище та чинники загроз безпеці життєдіяльності на місцевому та транскордонному рівнях. SCN надає інформацію про Плановану комплексну систему моніторингу, яка включає: моніторинг деформацій земної поверхні за допомогою DInSAR (інтерферометрична обробка даних супутникового радіолокаційного моніторингу за допомогою методів PS & SBAS); гідрологічний та гідрогеологічний моніторинг (кількість води (рівні, витрати), якість/хімічний склад); геофізичну зйомку (мікрогравітаційний, геоелектричний та сейсмічний методи); геодезичну зйомку (перевірка дистанційних досліджень деформації поверхні землі); розвиток небезпечних геологічних процесів на місці (карст і суфозія (просідання, провали, тріщини), сезонні паводки, підтоплення, рух схилових мас (ерозія, зсуви); моделювання (сучасне вдосконалення гідродинамічної моделі); оцінку ризиків, попередні обґрунтування заходів захисту.

Деякі висновки:

- Проведені дослідження дозволяють констатувати, що деякі підсумки попередніх проєктів (ImProDireT) і навіть місії Європейської Команди захисту громадян (у 2016 році), повторюють попередні висновки про те, що існує недолік у обміні інформацією між усіма зацікавленими сторонами, залученими до (наслідків) видобутку корисних копалин у Солотвині. Надзвичайний стан все ще діє, і поки що немає відповідей чи рішень, як його скасувати.
- Зона поселення у Солотвині безпосередньо прилягає або входить до геодинамічно активної частини солянокупольної діапірової складчастості, ядро якої має виходи на поверхню.
- Існує понад 140 місцевих карстових об'єктів загальною площею понад 11,22 га та об'ємом карстових ям і обвалів понад 5 млн м³.

- **Зростання туристичного сектору неможливо досягти без запобігання поширенню забруднення.** Місцеві соляні ресурси є найважливішою цінністю району, і на цей час вони створюють бренд Солотвина.
- У деяких регіонах переселення та будівництво нового житла й інфраструктури може бути єдиним прийнятним варіантом. А погано спланована політика переселення може спричинити неконтрольований негативний вплив на групи нацменшин, що відповідно позначиться на всьому населенні Солотвина.
- Ринок праці після краху гірничодобувної промисловості є дуже моноструктурним і зосереджений на туризмі як новому основному джерелі доходу.
- Гірничодобувна промисловість зазнала краху, **але є шанс відновити цю галузь у Солотвині далі від старих шахт**, що менше заважатиме населеним районам.
- Несприятливим фактором є те, що обробляється лише певна частина утворених відходів, а **система управління відходами**² не працює добре.
- **На території затоплених і непрацюючих (покинутих) шахт відбувається розширення зони просідання та поступове вирівнювання схилів навколо карстових воронок і кратерів. Водночас наявність карстово-суфозійних воронок (провалів) з вертикальними стінками є показником продовження активних карстово-суфозійних процесів.**
- У складних економічних умовах (військова агресія Росії, особливо її гостра фаза з 2022 року та певною мірою COVID-19) населення Солотвина знаходить можливості та ресурси для реалізації проєктів з розвитку туристичної інфраструктури. Є напрацювання щодо забудови територій, де зафіксовані вертикальні зміщення поверхні землі. Для бальнеологічних цілей соляний розчин видобувають з порожнин шахти №7.
- На підставі оцінки вертикальних зміщень земної поверхні, отриманої за допомогою інтерферометричної обробки

² Управління відходами 2017, 2020:

http://www.uz.ukrstat.gov.ua/statinfo/navkol/2018/povod_vidhod_rajony-2017.pdf;

http://www.uz.ukrstat.gov.ua/statinfo/navkol/2021/povod_vidhod_rajony-2020.pdf

показників супутникового радіолокаційного моніторингу за період 2016-2021 років, значення накопичених деформацій земної поверхні досягають -385,12 мм; встановлено, що шахти №№ 7, 8 та 9 створюють загрозу техногенній безпеці.

- Результати показують зовсім іншу ситуацію у румунській частині, порівняно з українським Солотвином. Вся територія Сігету Мармаціей перебуває у стабільному стані, і тут немає жодного району міста, що демонструє географічно впізнавані патерни руху поверхні.
- Розроблено модернізовану гідродинамічну модель Солотвинського родовища кам'яної солі та прилеглих територій, яка містить інформацію про п'ять шарів (геологічних одиниць – пластів) карти векторів швидкості, ізоліній рівня ґрунтових вод, ліній течії, передбачених для двох водоносних горизонтів (четвертинного та торгонського) з урахуванням і без урахування тектонічних порушень різного рангу.
- Гідродинамічне моделювання, з урахуванням тектонічних порушень (розломів), на моделі показало деформацію модельних ліній течії підземних вод, що свідчить про збільшення водообміну в зонах тріщин. Це може прискорити та посилити поширення солоної води у водоносних горизонтах.
- За результатами розв'язування кількох інверсійних задач встановлено, що відтворена на моделі гідродинамічна ситуація, з достатньою вірогідністю відображає природні умови, тому отриману модель можна використовувати для вирішення практичних завдань.
- Функціонування системи моніторингу необхідне для сталого використання природних ресурсів (розсолів і кам'яної солі) та захисту від транскордонного поширення забруднення поверхневих і підземних вод.
- За результатами отриманих досліджень (польові спостереження, аналіз даних супутникового радіолокаційного моніторингу ДЗЗ, геологічне та гідродинамічне моделювання) розроблено комплексний план системи моніторингу.

Деякі рекомендації:

- **Враховуючи складну геоекологічну ситуацію, першочерговим завданням є розробка та функціонування системи постійного комплексного моніторингу Солотвинського солерудника та прилеглих територій.**
- **Еколого-техногенні та соціально-економічні параметри ревіталізації Солотвина необхідно оцінити після створення попереджувальної інформаційно-ефективної системи моніторингу з можливістю високоїмовірної просторово-часової оцінки тривалого (десятки років) переходу у рівноважний геодинамічний стан надр на цій території.**
- **Темою подальшого дослідження є необхідність з'ясувати екологічну та економічну доцільність підтримування реконструкції сектору видобутку солі. У разі позитивних відповідей, слід розгорнути суворий і вдосконалений моніторинг.**
- Видобуток корисних копалин також можна розглядати як спільну культурну спадщину населення та регіону, включаючи громаду Солотвина, яка може забезпечити підтримку розвитку міжнародного туризму.
- Необхідно зосередитися на містобудівних функціях, установах і послугах регіонального значення (туристичні об'єкти, лікарні тощо) та привабливості для підтримки й зміцнення міського розвитку.
- Треба заохочувати розвиток економіки замкнутого циклу, насамперед шляхом поліпшення переробки відходів, що також може забезпечити додаткові робочі місця та прибутки.
- Необхідно ліквідувати незаконні стихійні сміттєзвалища та засипані воронки вздовж заплави Тиси у Солотвині та навколо нього. Варто спробувати повторно використати або переробити видалені матеріали та відходи.
- Треба створити нове сучасне сміттєзвалище за стандартами ЄС далі від річки та соляних шахт, щоб захистити поверхневі та ґрунтові води від забруднення та трансмісії.
- Необхідно підтримувати проведення заходів з підвищення обізнаності (наприклад, конкурси зі збору та переробки сміття).
- **Темою подальшого дослідження є необхідність з'ясувати екологічну та економічну доцільність підтримування**

реконструкції сектору видобутку солі. У разі позитивних відповідей, слід розгорнути суворий моніторинг.

- Щоб уникнути розповсюдження забруднення, його джерела та можливість поширення повинні бути локалізовані. У іншому випадку це унеможливить розвиток туризму або принаймні зменшить його привабливість.
- **Створення умов/системи для використання природних ресурсів з метою оздоровчого туризму (лікувального, реабілітаційного, рекреаційного), у межах, які не становлять додаткового ризику для життя та не мають негативних наслідків для навколишнього середовища (насамперед, поширення забруднення).**
- Гідродинамічна модель стала основою для визначення кількості та просторового розташування мережі моніторингових гідрологічних спостережень та гідрогеологічних свердловин, відповідно до розробленого плану системи моніторингу та режиму спостереження.
- Застосувати розроблену гідродинамічну модель як основу постійно оновлюваної гідродинамічної моделі – елемента комплексної системи моніторингу Солотвинського родовища кам'яної солі та околиць з метою сталого управління та використання природних ресурсів.
- Рекомендовано створити Комплексну Систему Моніторингу, що включає моніторинг деформацій земної поверхні за допомогою DInSAR; гідрологічний та гідрогеологічний моніторинг (кількість і якість води); геофізичну зйомку (мікрогравітаційний, геоелектричний та сейсмічний методи); геодезичну зйомку; обстеження на місці розвитку небезпечних геологічних процесів; моделювання (сучасне вдосконалення гідродинамічної моделі); оцінку ризиків, попередні обґрунтування заходів безпеки. Впровадження системи моніторингу з інтегрованою перманентною гідродинамічною моделлю має стати інструментом управління використання природних ресурсів Солотвинського населеного пункту – розсолів та кам'яної солі – як основного чинника його сталого економічного та соціального розвитку.

Як підсумок, перший етап проєкту було виконано з метою моніторингу та дослідження проблеми й виявлення її причин, а також поширення забруднюючих речовин у цьому районі.

Як другий етап проєкту, пропонується провести оцінку різних методів управління солоною водою у районі дослідження та річці Тиса. Потім вибрати і розробити найкращу техніку, яку можна застосувати для захисту території від забруднення на основі соціальних, економічних та екологічних аспектів.

*AKITIC Едмундс,
експерт ЄС зі зменшення ризиків,
зовнішній експерт ЄОТС ТИСА*

ДЛЯ ЗАМІТОК

A series of horizontal lines spanning the width of the page, serving as a guide for writing or drawing. There are 23 lines in total, evenly spaced from top to bottom.

