

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДВНЗ «УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
ЗАХІДНЕ ГЕОДЕЗИЧНЕ ТОВАРИСТВО УТГК
НАУКОВО – ДОСЛІДНИЙ ГЕОДЕЗИЧНИЙ, ТОПОГРАФІЧНИЙ І КАРТОГРАФІЧНИЙ
ІНСТИТУТ (ЧЕСЬКА РЕСПУБЛІКА)
ЗАКАРПАТСЬКА РЕГІОНАЛЬНА ФІЛІЯ ДЕРЖАВНОГО ПІДПРИЄМСТВА «УКРАЇНСЬКЕ
АЕРОГЕОДЕЗИЧНЕ ПІДПРИЄМСТВО»
НАЦІОНАЛЬНИЙ ПРИРОДНИЙ ПАРК «СИНЕВИР»
ВСЕУКРАЇНСЬКА ГРОМАДСЬКА ОРГАНІЗАЦІЯ «АСОЦІАЦІЯ ФАХІВЦІВ
ЗЕМЛЕУСТРОЮ УКРАЇНИ»

НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В ГЕОДЕЗІЇ, ЗЕМЛЕВПОРЯДКУВАННІ ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННІ

**МАТЕРІАЛИ
ХІ МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО - ПРАКТИЧНОЇ
КОНФЕРЕНЦІЇ**

26-28 жовтня 2023 р.

Ужгород

Ужгород – 2023

УДК 630+528.4(063)
ББК ПЗ+Д143л0
М34

Матеріали XI-ї міжнародної науково-практичної конференції «НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В ГЕОДЕЗІЇ, ЗЕМЛЕВПОРЯДКУВАННІ ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННІ» (26-28 жовтня 2023 року). – Ужгород: Видавництво, 2023. – с.205

У збірнику матеріалів конференції представлені роботи, які відображають загальнотеоретичні, методологічні, практичні проблеми та результати досліджень у галузі вивчення рухів земної поверхні, вищої геодезії, інженерної геодезії, картографії, аерогеодезії, фотограмметрії, геоінформатики, кадастру, правових відносин у галузі землекористування, лісівництва, заповідної справи та раціонального природокористування.

Рекомендується для науковців, викладачів, аспірантів, студентів та широкого кола громадськості.

Редакційна колегія:

*декан, к.т.н. І.Калинич (відповідальний редактор),
доцент, к.б.н. А. Мигаль (заступник відповідального редактора),
професори, доктори технічних наук С. Савчук, І. Тревого,
професор, д.ф.-м.н. В. Дробнич, доцент, к.геогр.н. М.Карабінюк,
доцент, к.б.н. Л. Потіш, професор, д.ф.-м.н. С.Поп, доцент, к.н.з д.у. В. Пересоляк*

технічний редактор М. Ничвид

Відповідальний за випуск: доцент, к.б.н. А. Мигаль

Матеріали подано в авторській редакції.

Відповідальність за зміст поданих матеріалів та точність наведених даних несуть автори.

**Рекомендовано до друку
Редакційно-видавничою радою ДВНЗ "УжНУ"
(протокол №6 від 24 жовтня 2023 року)**

Адреса редакції:

*Ужгород 88000, вул. Університетська, 14
Географічний факультет ДВНЗ «УжНУ»
тел./факс (0312)640354*

ISBN 978-617-8127-28-2

© Ужгородський національний університет, 2023

ЗМІСТ	стор.
РОЗДІЛ І ГЕОДЕЗІЯ, КАРТОГРАФІЯ ТА ЗЕМЛЕУСТРІЙ	
Н.І.Каблак, І.В.Калинич, М.Р.Ничвид, І.І.Проданець, О.К.Рейтій <i>ДОСЛІДЖЕННЯ І МОНІТОРИНГ НЕБЕЗПЕЧНИХ ПРИРОДНИХ І ТЕХНОГЕННИХ ГЕОПРОЦЕСІВ В БАСЕЙНІ РІЧКИ ТИСА</i>	3
Л. Назаревич А. Назаревич <i>СЕЙСМІЧНІСТЬ ЗАХОДУ УКРАЇНИ ПІСЛЯ СЕРІЇ КАТАСТРОФІЧНИХ ТУРЕЦЬКИХ ЗЕМЛЕТРУСІВ 2023 РОКУ ЯК ІНДИКАТОР «ЗБУРЕНИХ» ТЕКТОНІЧНИХ СТРУКТУР</i>	11
В.В. Ігнатишин, М.Б. Ігнатишин, А.В.Ігнатишин, Т.Й.Іжак, А.Й.Рац, С.С.Молнар Д <i>ВАРІАЦІЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ЕМІСІЇ ТА СЕЙСМОТЕКТОНІЧНІ ПРОЦЕСИ В ЗАКАРПАТСЬКОМУ ВНУТРІШНЬОМУ ПРОГІНІ</i>	15
О.В. Серант, С.В. Доскіч, Б.Б. Джуман <i>ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СЕЙСМІЧНОСТІ НА ГОРИЗОНТАЛЬНІ ЗМІЩЕННЯ ГРЕБЛІ ДНІСТРОВСЬКОЇ ГЕС</i>	21
С. Савчук, А. Федорчук <i>МОДЕЛЮВАННЯ ПОХИБОК ВИСОТ ГЛОБАЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ ГЕОІДА ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ GNSS-НІВЕЛЮВАННЯ У ГІРСЬКІЙ МІСЦЕВОСТІ</i>	26
Ю. Стопхай, В. Плиска, О. Матвієнко <i>РОЗРОБКА СИСТЕМИ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ СТАНЦІЙ ГНСС МЕРЕЖ НА ОСНОВІ УКРАЇНСЬКОЇ ПОСТІЙНО ДІЮЧОЇ (ПЕРМАНЕНТНОЇ) МЕРЕЖІ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ГНСС</i>	31
С. Савчук, В. Керкер <i>РОЗРОБКА ТА ТЕСТУВАННЯ НОВОГО ПРОГРАМНОГО ПАКЕТУ ДЛЯ АНАЛІЗУ ЧАСОВИХ РЯДІВ КООРДИНАТ GNSS-СТАНЦІЙ</i>	35
А.П. Баян, С.С. Перій, В.Л. Тарнавський, М. М. Свідрак <i>АПРОБАЦІЯ МЕТОДУ ГЕОМЕТРИЧНОГО НІВЕЛЮВАННЯ СПОСОБОМ ВПЕРЕД-НАЗАД</i>	41
J. Zaczek-Peplinska, L. Saloni, K. Tretyak, S. Jastrzebski <i>ADAPTATION OF THE CONTROL NETWORK FOR DETERMINING THE DISPLACEMENTS OF HYDROTECHNICAL OBJECTS USING AUTOMATIC GEODETIC OBSERVATION SYSTEMS</i>	47
А. Віват, О. Горб, О. Бочко, Л. Поляковська <i>АПРОБАЦІЯ МОБІЛЬНОЇ СИСТЕМИ ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ STONEX X120^{GO}</i>	55
Я.І.Ваш, Н.І.Каблак, Р.В.Труш <i>ВИКОРИСТАННЯ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ ДЛЯ ТЕХНІЧНОГО НАГЛЯДУ ОБ'ЄКТУ КАПІТАЛЬНОЇ РЕКОНСТРУКЦІЇ</i>	61
В.М. Ковтун <i>ВДОСКОНАЛЕННЯ ГЕОДЕЗИЧНОГО КОНТРОЛЮ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РЕЗЕРВУАРІВ ВЕРТИКАЛЬНИХ СТАЛЕВИХ</i>	66
D.M. Pop, S.M. Rădulescu, A.T. Rădulescu, G.M.T. Rădulescu <i>MATHEMATICAL MODELING OF STRUCTURAL HEALTH MONITORING CASE STUDY, THE BEHAVIOR OF BRIDGES IN NON-UNIFORM SUNLIGHT</i>	73
Б.Четверіков, І.Тревого, А.Маліцький <i>ЗАСТОСУВАННЯ ОРТОФОТОПЛАНІВ, СТВОРЕНИХ ЗА АЕРОЗНІМКАМИ З БПЛА ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ЗЕМЕЛЬ ІСТОРИКО-КУЛЬТУРНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ</i>	80
О.Терещук, С. Крячок, В.Беленок, О. Бойко <i>УДОСКОНАЛЕННЯ ПРИСТРОЮ ВІДТВОРЕННЯ ВЕРТИКАЛІ ДЛЯ БПЛА</i>	87
В.І.Русин, М.В. Москаль <i>ПРЕДСТАВЛЕННЯ КОНЦЕПТУ ПОСТІЙНОДІЮЧОЇ СИСТЕМИ МОДЕЛЮВАННЯ ЗОН ЗАТОПЛЕННЯ В м. УЖГОРОД</i>	89
А.В.Шлінські, І.П. Радшш <i>СТВОРЕННЯ МОДЕЛІ ЗОН ЗАТОПЛЕННЯ ДІЛЯНКИ СІЛ БЕНЕ, БОРЖАВА, ВАРИ ЯК БАЗОВА СКЛАДОВА ПРИ ПЛАНУВАННІ НАСЕЛЕНОГО ПУНКТУ</i>	95
А.О.Анненков, О.В.Адаменко, Р.А.Дем'яненко <i>СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ В ПРОЦЕСІ МОДЕЛЮВАННЯ</i>	101

АРХІТЕКТУРНИХ ОБ'ЄКТІВ	
С.А. Чіркін <i>ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ НА ПРИКЛАДІ СИСТЕМИ ВПРОВАДЖЕНОЇ НА ТЕРЕБЛЯ-РІЦЬКОЇ ГЕС ТА ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ З ЛІДЕРАМИ КОМЕРЦІЙНИХ РІШЕНЬ</i>	106
В.І. Мокрий, О.І. Мороз, І.М. Петрушка, Е.М. Арустамян <i>ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ МОНІТОРИНГУ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНОГО ФОНДУ РОЗТОЧЧЯ</i>	111
Р.І. Беспалько, Т.В. Гуцул, І.І. Казімір <i>ВИРОБНИЦТВА ТА ЦИФРОВОЇ ФОТОГРАМЕТРІЇ У ПІСЛЯВОЄННИЙ ЧАС</i>	117
Г.І. Прохорова <i>ВРАХУВАННЯ ФАКТОРНИХ ОЗНАК ПРИ ОЦІНЦІ ЗЕМЕЛЬНИХ ДІЛЯНОК</i>	121
S. Nesterenko, Y.Radzinska <i>STUDY OF PLANNING RESTRICTIONS OF URBAN AREAS</i>	127
О.М. Дехтяр, В.О. Романко, А.В.Фандалюк <i>БОНІТЕТНА ОЦІНКА ЗЕМЕЛЬ НА ТЕРИТОРІЇ ІРШАВСЬКОЇ ТГ</i>	132
М. М. Кевпаніч, А. В. Фандалюк <i>АГРОХІМІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ҐРУНТІВ ГОРОНДІВСЬКОЇ ОТГ</i>	137
І.В.Калинич, Б.С.Микула <i>ВПЛИВ ГЕОДЕЗИЧНИХ ДАНИХ НА РИНКОВУ ВАРТІСТЬ ЗЕМЕЛЬНИХ ДІЛЯНОК</i>	142
В.Ю.Пересоляк, С.С.Радомський <i>ДЕЯКІ АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ЗЕМЛЕУСТРОЮ В ПОРЕФОРМЕННИЙ ПЕРІОД ЩОДО ЗЕМЕЛЬ КОЛЕКТИВНИХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ПІДПРИЄМСТВ</i>	148
Р.М.Петій, В.Ю.Пересоляк <i>ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ КОМПЛЕКСНОГО ПЛАНУ ТЕРИТОРІЇ НА ПРИКЛАДІ ПИЙТЕРФОЛВСЬКОЇ ОТГ</i>	151
В. Луцьо, О. Фегир, В. Романко <i>СТРУКТУРА ЗЕМЕЛЬ НА ТЕРИТОРІЇ С. ДРАГОВО</i>	156
Т. Хуторська, В. Пересоляк <i>ЗЕМЛЕУСТРІЙ ЯК СКЛАДОВА ЧАСТИНА ОВД НА ПРИКЛАДІ КУРОРТА СВИДОВЕЦЬ</i>	160
РОЗДІЛ II ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ	
П.С. Войтків, Є.А. Іванов, І.І. Волошин <i>ЛІСОГОСПОДАРСЬКЕ ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ ЗАБОЛОТЦІВСЬКОЇ ТЕРИТОРІАЛЬНОЇ ГРОМАДИ ЗОЛОЧІВСЬКОГО РАЙОНУ ЛЬВІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ</i>	165
О. Мороз, О. Кузь, М. Руда, К. Кохалевич <i>МУЛЬТИКОМПАРТМЕНТАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЗВ'ЯЗКІВ В КОМПАРТМЕНТАХ СКЛАДНОГО ЛАНДШАФТНОГО КОМПЛЕКСУ В УМОВАХ ВПЛИВУ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ</i>	171
М.М. Карабінюк, М.М. Шанта <i>ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬ ТА СУЧАСНИЙ СТАН СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА В ХОЛМКІВСЬКІЙ ТЕРИТОРІАЛЬНІЙ ГРОМАДІ ЗАКАРПАТСЬКОЇ ОБЛАСТІ</i>	176
Ю.Тюх, Ю.Ярема, В.Беца, М.Нанпнець, Т.Ярема, Г.Субота, Є.Савка, В.Попович <i>ОХОРОНА І ЗБЕРЕЖЕННЯ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ НАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО ПАРКУ «СИНЕВИР», ЯКІ МАЮТЬ ЕКОЛОГІЧНЕ, ПРИРОДООХОРОННЕ ТА НАУКОВЕ ЗНАЧЕННЯ</i>	182
О.О.Скалінчан, А.В. Мигаль <i>ДУБ ЧЕРВОНИЙ ТА РОБІНІЯ ЗВИЧАЙНА В ЛІСОСТАНАХ УЖГОРОДСЬКОГО ЛІСНИЦТВА ФЛІПІ «УЖГОРОДСЬКЕ ЛІСОВЕ ГОСПОДАРСТВО» ДП «ЛІСИ УКРАЇНИ»</i>	188
С. С. Чепур <i>ОКРЕМІ АСПЕКТИ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРКОВИХ НАСАДЖЕНЬ</i>	193
О.Ю. Марічак, І.Ю. Фекета <i>ЕКОЛОГО-ГЕОГРАФІЧНИЙ АНАЛІЗ ҐРУНТІВ МІСТА ПЕРЕЧИН УЖГОРОДСЬКОГО РАЙОНУ ЗАКАРПАТСЬКОЇ ОБЛАСТІ</i>	198

УДК 528.3+551.435.8:502.51(282)(477.87)

Н.І.Каблак¹, І.В.Калинич¹, М.Р.Ничвид¹, І.І.Проданець², О.К.Рейтій¹

¹Кафедра геодезії, землеустрою та геоінформатики, ДВНЗ «Ужгородський національний університет», вул. Університетська, 14, Ужгород, Україна, 88000, ел. пошта nataliya.kablak@uzhnu.edu.ua, ivan.kalynych@uzhnu.edu.ua, mariya.nychvyd@uzhnu.edu.ua

²Закарпатська регіональна філія ДП «УкрДАГП», вул. Грушевського, 39, Мукачево, Україна, 89600, ел. пошта geodezcentre@gmail.com

ДОСЛІДЖЕННЯ І МОНІТОРИНГ НЕБЕЗПЕЧНИХ ПРИРОДНИХ І ТЕХНОГЕННИХ ГЕОПРОЦЕСІВ В БАСЕЙНІ РІЧКИ ТИСА

Стаття присвячена висвітленню еволюції просторово-часової деформації земної поверхні в басейні р. Тиса в межах Закарпатської області з аналізом геодезичних спостережень. Моніторинг карсту почався з виявлення найбільш небезпечних ділянок земної поверхні, які піддаються вертикальним зміщенням. Для цього використовувався метод радіолокаційної диференціальної інтерферометрії SAR. Після виявлення найбільш небезпечних ділянок за даними супутникової інтерферометрії, на об'єктах було проведено локальний геодезичний моніторинг для запобігання можливих аварій.

Ключові слова: карст; моніторинг деформації земної поверхні; геодезичні вимірювання; InSAR; високоточне нівелювання.

Постановка проблеми

Територія Закарпатської області охоплює гірську частину Українських Карпат (~70%), що характеризується найбільш високою динамікою геологічного середовища, та рівнинну частину Закарпатської низовини. Найбільш чітке співвідношення рельєфу зі структурним планом спостерігається у Зовнішніх Карпатах, де чергування гірських хребтів і улоговин, їхні висоти, характер розчленування та напрямки простягання пов'язані з серією покривів, що мають значний вплив на напрямок і будову річкових долин, які, в свою чергу, формують регіональні умови розвитку зсувів, селів та інших небезпечних інженерно-геологічних процесів [1]. Серед усіх екзогенних геологічних процесів, що мають розвиток на території Закарпатської області, зсуви є одним з найпоширеніших. Зсуви на території Закарпатської області розвиваються у четвертинних глинистих елювіально-делювіальних відкладах на схилах річок та у корі вивітрювання вулканічних порід. Несприятливі кліматичні умови зумовили катастрофічну активізацію небезпечних екзогенних геологічних процесів восени 1998 р. – навесні 1999 р., весною 2001 р. та влітку 2008 р. Однією з

найнебезпечніших у межах Карпатського регіону є територія Закарпатської області, де зареєстровано на 2021 р. 3288 зсувопроявів площею 385,21 км², що становить 18% від загальної площі зсувів в Україні, а також 24 карстові лійки загальною площею 0,224 км², 519 ділянок бічної ерозії водотоків загальною довжиною 159,94 км, 276 селенебезпечних водотоків загальною площею 1822 км² [2].

У районах ведення гірничих робіт та інтенсивного техногенного навантаження продовжується розвиток техногенного карсту. В Закарпатті цей процес зафіксовано в районі видобування соляних корисних копалин на території Солотвинське родовища кам'яної солі. Родовище локалізовано в межах зони гумідного клімату, де кількість опадів майже вдвічі переважає кількість випаруваної вологи. Середня багаторічна кількість опадів дорівнює 873 мм, з яких 45% випадає в травні–серпні, при зафіксованому максимумі 294 мм. Інфільтрація атмосферних вод відбувається у четвертинні відклади з перетоком у бокові вмисні породи та до рівня соляного дзеркала [3].

Згідно з архівними даними, Солотвинське родовище розроблялося підземним шляхом понад 220 років. За час

розробки було побудовано і експлуатувалось 9 копалень. Видобуток солі ДП «Солотвинський соляний рудник» було припинено з початку 2007 року. Передумовою створення масштабного карсту було забезпечення руху агресивних вод і винесення насичених розсолів. Саме цю роль виконувала розповсюджена дренажна система, яка була створена в декілька рівнів у самому соляному масиві для забезпечення можливості ведення гірничих робіт. Проте в штольнях і котлованах фіксувалися часті падіння, що перекривали самостійність деревні води. Через недофінансування Солотвинського солерудника ці падіння не були вчасно ліквідовані. Утворювалися штучні дамби, які створювали підпір надсолевих вод і прискорене їх просочування в соляний масив по ослабленим зонам, насамперед у районі Чорного Мочару. Це призвело до катастрофічних наслідків, які сьогодні спостерігаються на родовищі.

Техногенно активізований карст в межах Солотвинського родовища спричинив докорінні зміни рельєфу земної поверхні, збільшення коефіцієнта стоку, зміни місць живлення та розвантаження підземних вод.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Технологія InSAR набула широкої популярності на початку 90-х завдяки успішним спостереженням за деформаціями ґрунту, спричиненими землетрусом Ландерса в Каліфорнії [4]. У країнах ЄС, особливо в Італії, організовано національний моніторинг зсувів і осідань на вугільних шахтах за даними супутникових радарів на основі технології постійних інтерферометричних відбивачів (PS). Норвезька геологічна служба (NGU), Норвезьке управління водних ресурсів і енергетики (NVE) і Норвезький космічний центр запустили “InSAR Norway”.

Отже, метод моніторингу InSAR можна застосувати для проведення всепогодного та постійного моніторингу поверхні без необхідності встановлення будь-якого обладнання в цільовій зоні моніторингу, охоплення моніторингу є широким, а точність моніторингу досягає

сантиметрового рівня в міліметровій шкалі [5-8].

Постановка завдання

На даний час, на території Солотвинської промислово-міської агломерації розвивається загрозлива тенденція до зниження рівня екологічної безпеки внаслідок подальшого руйнування солепородного масиву солерудника. Водночас останні дані свідчать про зростання ризику виникнення транскордонної надзвичайної ситуації водно-екологічного походження на території Солотвинського солерудника через поширення карстових процесів у бік селища Солотвино та долини р. Тиса. Екологічна ситуація в с-щі Солотвино суттєво ускладнюється через недостатньо скоординовану дію центральних органів державної влади у природоохоронній сфері та сфері надзвичайних ситуацій і регіональної та місцевої влади зі стабілізації та подальшої нормалізації еколого-техногенної ситуації.

Через брак системного моніторингу небезпечних екзогенних та техногенних геопроцесів і зокрема розповсюдження карстовопровальних процесів та руху мінералізованих підземних вод у долині р. Тиса виникла потреба у комплексній оцінці загроз і ризиків, що появились у Карпатському регіоні. Тому ця стаття присвячена дослідженню геодинамічних процесів (зсувів, просідання, карстів) в басейні річки Тиса в межах Закарпатської області з комплексним поєднанням супутникових технологій та геодезичних спостережень, отриманих за останнє десятиліття.

Виклад основного матеріалу

З метою виявлення, аналізу та прогнозування небезпечних екзогенних та техногенних геопроцесів в Карпатському регіоні було розроблено та впроваджено міжнародний проєкт «Розширення діючої «Системи космічного захисту від надзвичайних ситуацій» у напрямку моніторингу небезпечних природних і техногенних геопроцесів на транскордонній території Угорщини, Словаччини, Румунії та

Україні» (скорочено GeoSES) в період з 1 грудня 2019 року по 31 грудня 2022 року, який був частиною 2-го конкурсу пропозицій Програми транскордонного співробітництва ENI, 2014-2020, Угорщина-Словаччина-Румунія-Україна. Адже транскордонне співробітництво (СВС) є ключовим елементом політики ЄС щодо своїх сусідів, що підтримує сталий розвиток вздовж зовнішніх кордонів ЄС та вирішення спільних викликів за межами цих кордонів [9]. Ініціатором та керівником проекту виступив Державний університет «Ужгородський національний університет», Україна, з партнерами: 1) Університет Павла Йозефа Шафарика в Кошице (Словаччина), 2) Технічний університет Клуж-Напока, (Румунія), 3) Будапештський університет технологій та економіки та 4) Самоврядування округу Саболч-Сатмар-Берег (Угорщина).

Роль головного партнера в проекті полягала в моніторингу найважливіших деформаційних проявів у транскордонній зоні на території Закарпатської області.

Початкова фаза проекту була зосереджена на виборі ділянок для моніторингу деформації земної поверхні. Було реалізовано загальне радіолокаційне дослідження всього регіону HU-SK-RO-UA за допомогою технології InSAR, особливо існуючих або покинутих гірничодобувних ділянок, родовищ, дамб для виявлення небезпечних місць. За результатами вивчення інформації про зсуви та карстові прояви в транскордонній зоні об'єктами дослідження були обрані: Біла Церква, Ділове, Солотвино в Україні, Нижній Чай і Вишня Гутка в Словаччині та район Сігету в Румунії. Тому подальші дослідження були проведені на цих об'єктах.

Для проведення аналізу InSAR було опрацьовано понад 300 знімків Sentinel 1A/B (S1A/B), отримані для кожної відносної орбіти D080 і D153. Обробка регіональних даних виконувалась в межах прямокутної сітки, розбитої на 16x16 квадратів (Рис. 1).

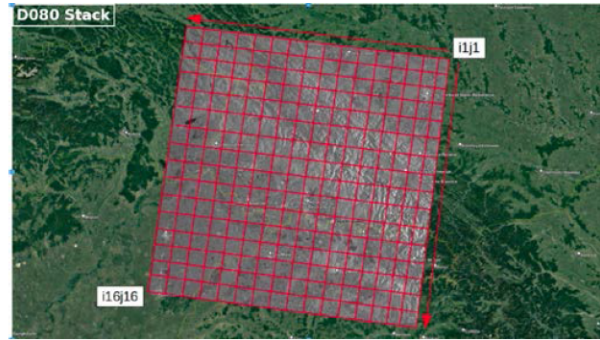


Рис. 1. Налаштування робочої зони дослідження

Основними вхідними даними InSAR-аналізу інтерферометричні дані Sentinel-1A (S1A) та Sentinel-1B (S1B) TOPS (Terrain Observation with Progressive Scanning) в період з 2014 р. до 2021 р. (для зменшення впливу снігу, були виключені дані за зимові місяці з жовтня по квітень). Так на рис. 2 представлено карту деформацій на прикладі смт Солотвино, отриману за допомогою аналізу InSAR. Деформація (у мм) вимірюється в кожній даті отримання SAR, що формує часовий ряд. Швидкість деформації (мм/рік) оцінюється за допомогою лінійної регресії часових рядів деформацій. Більшість визначених точок розсіювання візуалізуються як «зелені», що показує стабільні області. Позитивні (підняття) або негативні (осідання) зміщення відповідають вертикальним деформаціям та виділені відповідно синім і червоним кольорами. Так, з 01.01.2014 р. по 31.03.2022 р. без урахування зимових періодів, у смт. Солотвино виявлено значні зміни земної поверхні з максимальною швидкістю деформації $\sim 18,8$ мм/рік в центральній частині солерудника поблизу шахт №7 та №8, а також на території діючого продовольчого ринку [11].

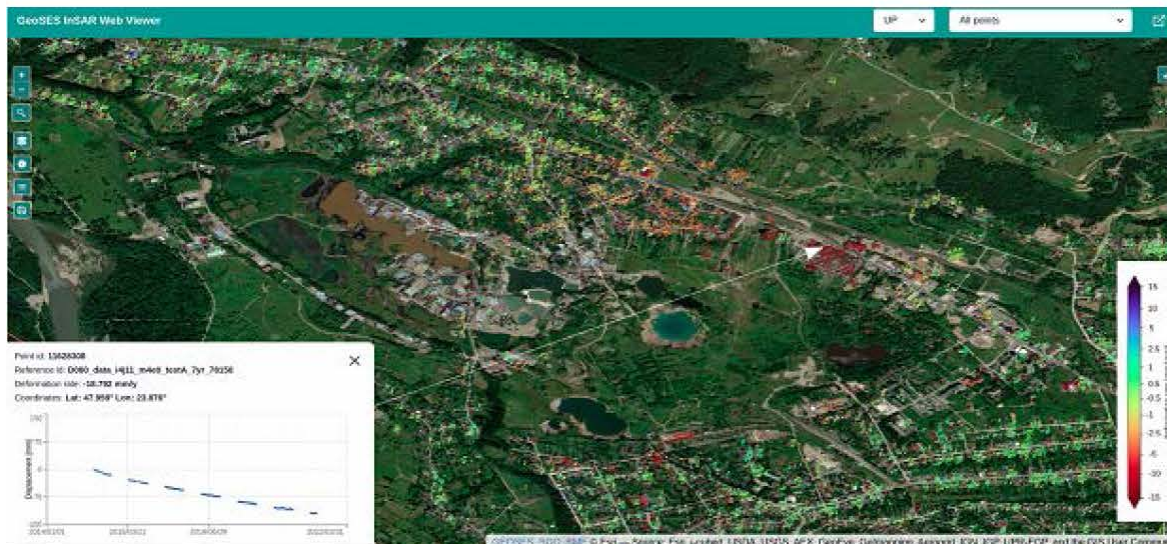


Рис. 2 Результати моніторингу InSAR на прикладі смт.Солотвино
(<https://geoses.sgo-penc.hu/>)

Після виявлення найбільш небезпечних ділянок для попередження можливих аварій був проведений локальний геодезичний моніторинг на об'єктах в межах смт. Солотвино, с.Ділове та с.Біла Церква, використовуючи матеріали цифрового аерознімання, топографічного знімання та високоточного нівелювання.

Щоб визначити динаміку зсувів/карсту необхідно цифрове аерознімання повторити кілька разів через певні інтервали. Таким чином, на досліджуваних територіях аерознімальні роботи було виконано у два етапи: навесні 2020 та восени 2021 р. Фрагмент затопленої шахти №7 за результатами цифрового аерознімання першого етапу зображено рис.3



Рис. 3. Затоплена шахта № 7
(з матеріалів цифрового аерознімання 2020 р. виконано за допомогою БПЛА – Tarot 680PRO Hexacopter, автор: Іван Проданець)

В результаті аерознімальних робіт за допомогою БПЛА одержано ортофотоплани на об'єкти Солотвино, Ділове та Біла Церква, створено 3D схеми карстів та

топографічні плани масштабу 1:500 [12]. Результати подано на прикладі об'єкту Біла Церква (рис. 4 та рис.5)



Рис.4 Деформаційний моніторинг (цифрове аерознімання 2020-2021) Біла Церква

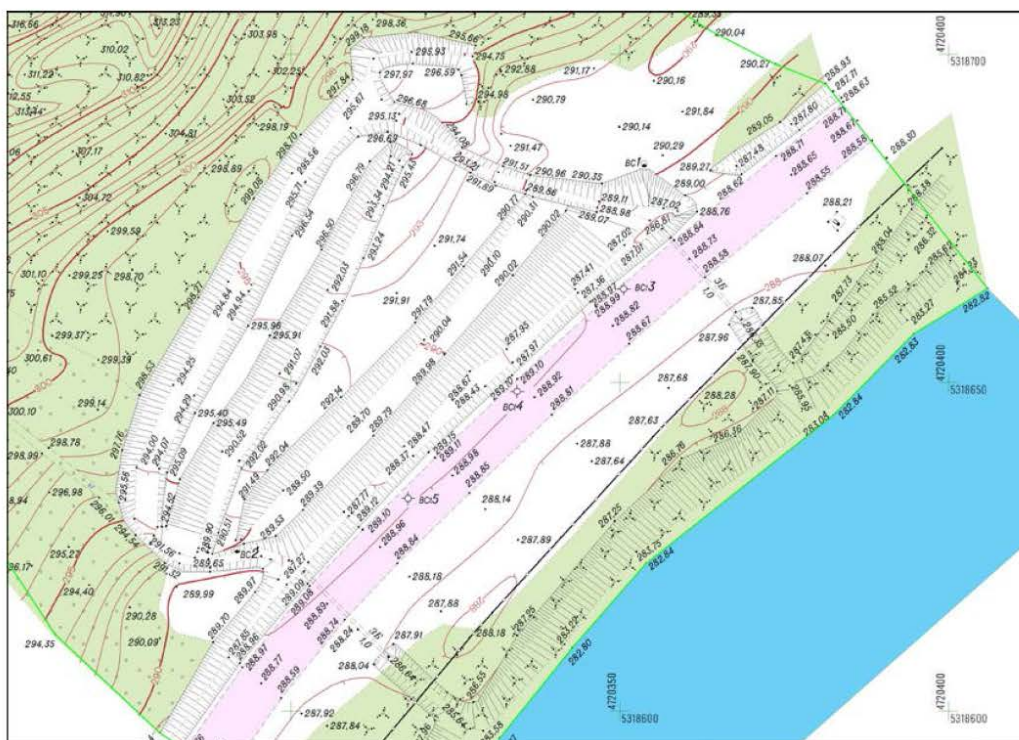


Рис.5 Фрагмент топографічного знімання 1: 500 Біла Церква

Для вивчення регіональних фонових геодинамічних процесів, кількісної оцінки деформаційних процесів земної поверхні в зоні активних техногенних проявів та створення епохи спостережень на першому

етапі робіт створено регіональні лінії, по яких виконано нівелювання другого розряду. Лінії нівелювання базувалися на точках державної нівелірної мережі у вигляді замкнутих полігонів (рис.6).

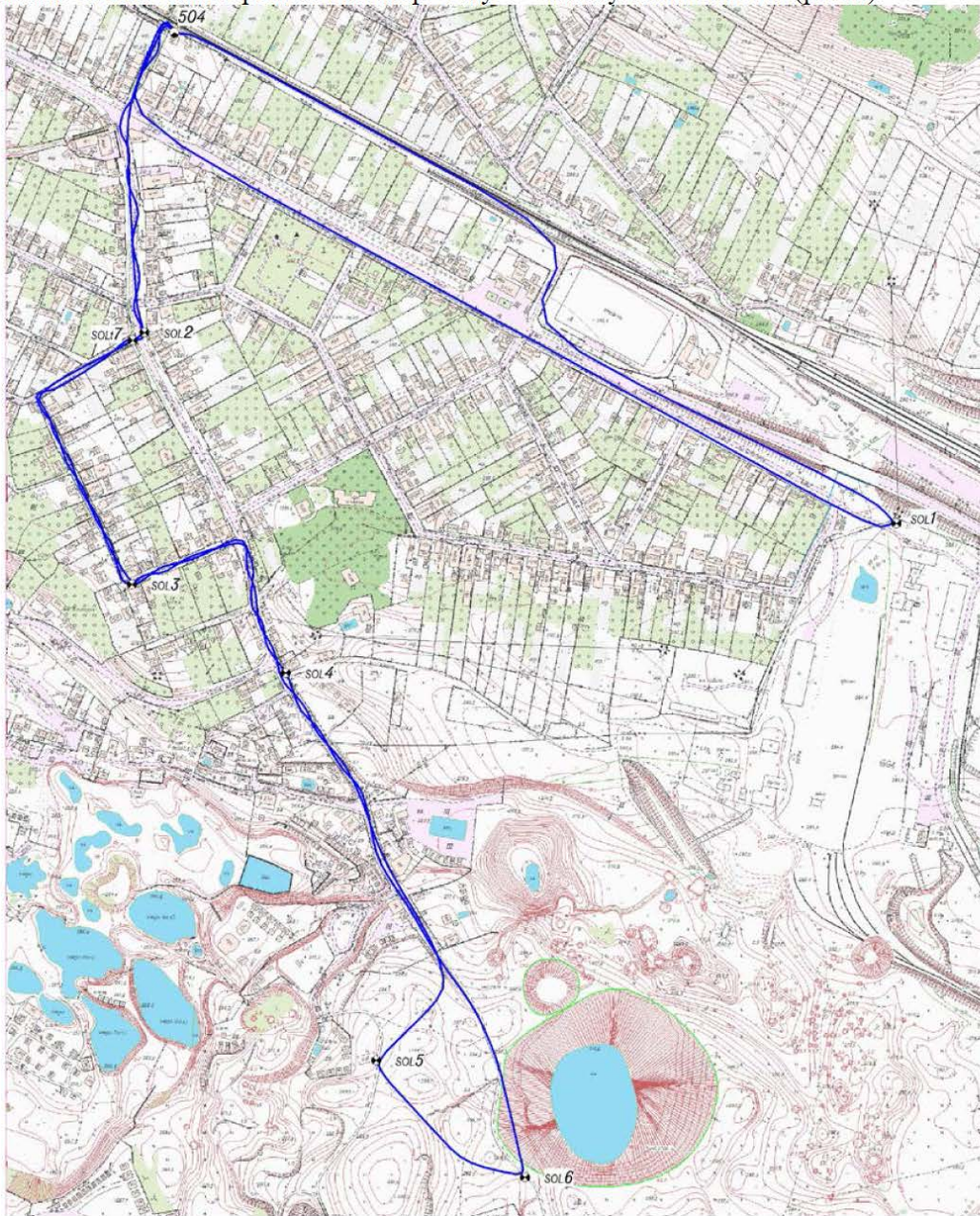


Рис.6 Схема нівелірних ходів (перший цикл нівелювання)

Вимірювання проводились цифровим нівеліром DiNi 22 (з метрологічними повірками) циклічно – 1 раз на квартал. Таким чином, у період з квітня 2020 року по листопад 2021 року кожні шість місяців було проведено чотири цикли вимірювання. За підсумками чотирьох циклів на Солотвинському майданчику найбільше

зрушення у репера SOL6. Максимальна швидкість осідання склала (SOL6, що знаходиться біля шахти №7) в плані 68 мм/міс, по висоті 60 мм/міс, мінімальна (SOL5 база відпочинку «Буковина») в плані 4 мм/міс, по висоті 1 мм/міс. Це також підтверджують дані радіолокаційної інтерферометрії. На об'єктах Ділове та Біла

Церква зміщення незначні. Зараз ведуться роботи зі стабілізації зсувів.

Висновки

Складний рельєф обмежує використання геометричного вирівнювання, а існування високої рослинності або просто зростання рослинності між циклами вимірювань може призвести до помилок у результатах, отриманих технологією InSAR. Тому завдяки проведеним дослідженням ми вважаємо, що найбільш прийнятною технологією моніторингу карстових і деформаційних рухів є поєднання згаданих технологій та методів. Комбінація методів (GNSS, геометричного нівелювання, аерофотограмметрії БПЛА, технології InSAR) у діяльності з моніторингу зсувів є єдиною альтернативою для отримання даних про рельєф місцевості для різних операційних кампаній.

З практичної точки зору ця розробка може стати стандартом, який можна буде

адаптувати на інших деградованих землях України.

Виконані роботи ще раз засвідчують наявність складної екологічної ситуації в Солотвині, для вирішення якої необхідно продовжити систему постійного геомоніторингу Солотвинського солерудника. Адже відповідно до Загальнодержавної програми №3 «Відновлення чистого та безпечного довкілля» заплановані заходи з екологічного відновлення Солотвинських соляних шахт на 2026-2032 роки.

Публікація здійснена в рамках виконання міжнародного гранту HUSKROUA/1702/8.1/0065 - Розширення операційної системи "Космічна аварійна система" в напрямку моніторингу небезпечних природних та техногенних геопроцесів у прикордонному регіоні HU-SK-RO-UA

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Шехунова С. Б., Сьюмар Н. П., Лобасов О. П., Стадніченко С. М. Аналіз просторових закономірностей поширення зсувів у межах Закарпатської області засобами ГІС. - УКРАЇНСЬКИЙ ГЕОГРАФІЧНИЙ ЖУРНАЛ.- 2022, 3(119)
2. Інформаційний щорічник щодо активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів за даними моніторингу ЕГП – Київ, Державна служба геології та надр України, Державне науково-виробниче підприємство «Державний інформаційний геологічний фонд України», 2021. - 78 с.
3. Дяків В.О. Закономірності розвитку техногенно активізованого соляного карсту в процесі затоплення шахт №8 та №9 Солотвинського солерудника Географія. № 9, 2012
4. Berardino, P., Fornaro, G., Lanari, R., & Sansosti, E. (2002). A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, 40(11), 2375–2383. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2002.803792>
5. Karaca, S. O., Abir, I. A., Khan, S. D., Ozsayın, E., and Qureshi, K. A. (2021). Neotectonics of the western suleiman fold belt, Pakistan: evidence for bookshelf faulting. *Remote Sens.* 13 (18), 3593. <https://doi:10.3390/rs13183593>
6. Yang, Z. R., Xi, W. F., Shi, Z. T., Xiao, B., and Zhou, D. Y. (2022a). Deformation analysis in the bank slopes in the reservoir area of Baihetan Hydropower Station based on SBAS-InSAR technology. *Chin. J. Geol. Hazard Control* 33 (05), 83–92 <https://doi:10.16031/j.cnki.issn.1003-8035.202202056>
7. Yang, Z. R., Xi, W. F., Yang, Z. Q., Shi, Z. T., and Qian, T. H. (2022b). Monitoring and prediction of glacier deformation in the meili snow mountain based on InSAR technology and GA-BP neural network algorithm. *Sensors* 22 (21), 8350 <https://doi:10.3390/s22218350>
8. Wang, L. Y., Qiu, H. J., Zhou, W. Q., Zhu, Y. R., Liu, Z. J., Ma, S. Y., et al. (2022). The post-failure spatiotemporal deformation of certain translational landslides may follow the pre-failure pattern. *Remote Sens.* 14 (10), 2333. <https://doi:10.3390/rs14102333>
9. Ma, S. Y., Qiu, H. J., Zhu, Y. R., Yang, D. D., Tang, B. Z., Wang, D. Z., et al. (2023). Topographic changes, surface deformation and

- movement process before, during and after a rotational landslide. *Remote Sens.* 15 (3), 662. <https://doi.org/10.3390/rs15030662>
10. https://neighbourhood-enlargement.ec.europa.eu/european-neighbourhood-policy/cross-border-cooperation_en
11. Magyr, B., Horváth, R. (2022). Regional scale monitoring results of surface deformation in the Transcarpathian Region, EGU General Assembly 2022, Vienna, Austria, 23–27 May 2022, EGU22-9443, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-9443>, 2022
12. Калинич, І. В., Нічвид, М. Р., Каблак, Н. І., Проданець, І. І., & Ваш, Я. І. (2022). MONITORING OF GEODYNAMIC PROCESSES IN THE TYSA RIVER BASIN USING AUTEL EVO II PRO RTK UAV. *Geodesy, cartography and aerial photography.* Issue 95, 2022, 77-93, <https://doi.org/10.23939/istecgap2022.95.077>

N. Kablak, I. Kalynych, M. Nychvyd, I. Prodanets, O. Reitiy

RESEARCH AND MONITORING OF DANGEROUS NATURAL AND TECHNOLOGICAL GEOPROCESSES IN THE TISA RIVER BASIN

The article is devoted to the coverage of the spatio-temporal evolution of deformations of the earth's surface in the basin of the Tisza River within the Transcarpathian region with the analysis of geodetic observations. Karst monitoring began with the identification of the most dangerous areas of the earth's surface that are subject to vertical displacement. For this, the method of radar differential interferometry SAR was used. After identifying the most dangerous areas based on satellite interferometry data, local geodetic monitoring was carried out at the facilities to prevent possible accidents.

Keywords: karst; monitoring of deformation of the earth's surface; geodetic measurements; InSAR; high-precision leveling.