

**ЗАКОНОМІРНОСТІ РОЗВИТКУ ПРИРОДНИХ ТА ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННИХ НЕБЕЗПЕЧНИХ
ГЕОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА ТЕРИТОРІЇ МІСТЕЧКА СОЛОТВИНО (ЗАКАРПАТТЯ, УКРАЇНА)**

**REGULARITIES OF NATURAL AND ANTROPOGENIC HAZARDOUS GEOLOGICAL PROCESSES
DEVELOPMENT FOR SOLOTVYNO (TRANSCARPATHTIA, UKRAINE)**

С.Б. Шехунова, М.В. Алексеєнкова, С.М. Стадніченко

Stella B. Shekhunova, Maryna V. Aleksieienkova, Svitlana M. Stadnichenko

Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, 55-B O. Honchara St., Kyiv, Ukraine, 01601 (shekhun@gmail.com)

Розглянуто закономірності проявів небезпечних природних та природно-техногенних процесів (схилова ерозія та зсуви, паводки, повені, підтоплення, карст, суфозія) у смт Солотвині за результатами систематизованих попередніх досліджень та власних візуальних маршрутних обстежень у 2017-2018 рр. За інтегральною комплексною оцінкою проявів небезпечних природних та природно-техногенних процесів, розроблено схему зональності території смт Солотвина, яка побудована в середовищі ESRI, базується на експертних оцінках даних: частоти та масштабу раніше зафіксованих проявів небезпечних геологічних процесів, змін в топографії та геоморфології, геодезичної зйомки, даних дистанційного зондування (спутникових знімків, диференційного інтерферометричного аналізу), власних систематичних польових спостережень, у поєднанні з узагальненими результатами попередніх робіт і моніторингових досліджень рівня поверхні в різні роки, різними методами, різними колективами. 16 зон охоплюють ділянки, ранжовані за ймовірністю осідань, просідань, провалів, зсувоутворення, карсту, суфозії, ерозії, паводків, повеней, підтоплення, зростання мінералізації підземних вод, що використовуються для водопостачання, та ін. Представлена схема пропонується як основа для забезпечення безпеки життєдіяльності в смт Солотвині при освоєнні території та організації системи інструментального моніторингу, за результатами якого схема має удосконалюватися, деталізуватися та набувати прогностичного спрямування. З огляду на складну геоекологічну ситуацію створення та функціонування системи постійного геоекологічного моніторингу Солотвинської солянокупольної структури та прилеглих територій є першочерговим завданням.

Ключові слова: небезпечні геологічні процеси, просідання, карст, карстові воронки, підтоплення, зсуви, ерозія

Regularities of hazardous natural and natural-technological processes manifestations (slope erosion and landslides, seasonal and flash floods, flooding, karst, suffusion) in Solotvyno village are considered according to the results of systematised previous studies and own visual field observations in 2017-2018. The zonation scheme for Solotvyno territory was developed according to the integrated comprehensive assessment of the hazardous natural and natural-technogenic processes manifestations. This scheme, constructed in the ESRI software, was produced based on expert assessment: former hazardous events frequency and scale, changes of topography and geomorphology, geodetic survey, remote sensing data (satellite imagery, Differential Interferometric Analysis data), authors systematic field observations, coupled with summarized previous research results and monitoring studies of terrain altitude in various years, by different methods and a number of research teams. 16 zones cover areas ranked by the probability of subsidence, sinkholes and collapses formation, landslides, karst, suffusion, erosion, seasonal and flash floods, flooding, increased mineralization of aquifers used for water supply etc. The presented scheme is proposed as the basis for ensuring life safety in Solotvyno during the territory development and monitoring system establishment, and then based on the monitoring results obtained, the scheme will be improved, detailed and it will acquire a predictive focus. Therefore because of the complicated geoeological situation, development and functioning of a permanent geoeological monitoring system for the Solotvyno salt dome structure and adjacent territories is a priority objective.

Keywords: Geological Hazards, Subsidence, Karst, Sinkholes, Flooding, Landslides, Erosion

ВСТУП

Виникнення та розвиток містечка Солотвина пов'язане з видобутком солі, початок якого в Закарпатті сягає бронзового віку (с. Нересниця); перші неглибокі шахти у регіоні почали закладати з 1745 р. (с. Олександрівка, шахта Георгій) (Китык и др., 1983). Назва містечка різними мовами – Salzgruben (німецькою *salz* – сіль), Slatina (румунською), Faluszlatina-Aknaszlatina (угорською), Selo Slatina + Slatinské Doly (словацькою) – містить корінь «сіль». Перша шахта Христина в Солотвині закладена у 1777 році. Понад 230

років солевидобувні підприємства були містоутворюючими. Проте кожна форма експлуатації соляних ресурсів має негативний вплив на природне середовище. За довгу історію видобутку солі в Солотвині було застосовано низку методів: від видобутку розсолу (розчинення солі прісною водою) до традиційного підземного видобутку, спочатку із застосуванням примітивних інструментів, а наприкінці 20-го – початку 21-го століття із застосуванням вибухових робіт та різальних машин в глибоких шахтах. З середини 90-х років минулого століття на працюючих рудниках родо-

вища почали накопичуватися проблеми, насамперед гідрогеологічні (розробка копалини на цьому родовищі відрізнялася складністю гідрогеологічних умов), які не вирішувалися та в результаті призвели до небезпечної екологічної ситуації техногенного характеру, що з 2010 р. набула державного рівня (експертний висновок МНС України від 09.12.2010 р. № 02-17292/165). Як наслідок було зупинено роботу ДП «Солотвинський солерудник», припинено функціонування підземного відділення спелеосанаторію Української алергологічної лікарні МОЗ України та обласної лікарні, діяльність яких була пов'язана безпосередньо з гірничими виробками діючих соляних шахт, втрачено унікальну низькофоновою лабораторію з вивчення елементарних частинок Інституту фізики НАН України.

На теперішній час на території родовища продовжуються небезпечні техногенно-геологічні процеси, що поширюються за межі гірничого відводу рудників (Яковлев та ін., 2016). Процеси карстоутворення активно проявляються в районі шахт № 7-9. Так, у межах західного флангу поля шахти № 8 у квітні 2015 р. утворилося провалля площею 5,5 тис. кв. м, об'ємом понад 200 тис. куб. м, у травні 2016 року великий провал стався на північному крилі структури над західним флангом поля шахти № 9. Руйнування міжповерхових та міжкамерних ціликів відпрацьованого простору призводить до катастрофічних просідань земної поверхні з негативним впливом на стан поверхневих споруд, існуючу інфраструктуру селища. Наприклад, наприкінці літа 2017 р. до однієї з резервних діючих свердловин місцевого водозабору стала надходити мінералізована вода, позбавивши КП «Солотвинський водоканал» резервів питного водопостачання у посушливі місяці, які, як правило, збігаються з туристичним сезоном. Крім того, порушення ландшафту, його деградація в результаті неконтрольованого розвитку соляного карсту, забруднення поверхневих та підземних вод – усе це дає підстави сусіднім країнам непокоїтися з приводу загроз транскордонного погіршення екологічних параметрів стану масиву вод р. Тиси.

В результаті відсутності бюджетного фінансування геологічної галузі на території родовища втрачено рештки системи гідрогеологічного та будь-якого інструментального моніторингу. Державне підприємство з видобування кам'яної солі перейменовано на підприємство з ліквідації рудників. Силами його працівників виконуються тільки візуальні спостереження за територією гір-

ничого відводу (а не за всією солянокупольною структурою) та постфактум фіксуються на поверхні прояви небезпечних геологічних процесів.

У 2015 р. Міністерство закордонних справ України за ініціативи низки зацікавлених органів (Державна служба з надзвичайних ситуацій, Міністерство аграрної політики і продовольства, Міністерство екології та природних ресурсів, Закарпатська державна обласна адміністрація, ФАО ООН та ін.) та угорські урядові і державні організації ініціювали звернення до Європейського Союзу щодо залучення експертної місії ЄС в Україну для проведення оцінки загроз і ризиків цієї надзвичайної ситуації. Наприкінці 2016 р. звіт з рекомендаціями експертної місії ЄС в Україну щодо ситуації в Солотвині було офіційно передано Міністерству закордонних справ України, Державній службі з надзвичайних ситуацій. Починаючи з березня 2018 р. за підтримки Генерального Директорату Європейської комісії з питань цивільного захисту та гуманітарної допомоги DG ECHO реалізується проект «Вдосконалення стратегії зниження ризиків стихійних лих в Закарпатській області, Україна» (ImProDiReT), спрямований на підвищення безпеки життєдіяльності у Солотвині. В рамках проекту виконано низку робіт, частина яких представлена в цій публікації. **Її мета** – узагальнення інформації щодо проявів природних та природно-техногенних небезпечних екзогенних процесів території Солотвина, встановлення чинників, особливостей та закономірностей їх поширення. Розв'язання ситуації в Солотвині ускладнює комплексний та динамічний характер явищ, які створюють мульті- та каскадні загрози і ризики. Для їх оцінки необхідно мати найповнішу та найдетальнішу, зокрема візуалізовану, вихідну інформацію щодо природно-техногенних небезпек, чому і присвячена представлена робота. Для цього вирішувалися **такі задачі**: визначення основних небезпечних природних та природно-техногенних процесів в межах смт Солотвина; їх опис, параметризація, встановлення просторово-часових закономірностей поширення.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Під небезпечними природними та природно-техногенними процесами у статті розуміються події природного та/або техногенного походження, які за своєю інтенсивністю, масштабом поширення і тривалістю можуть спричинити загибель людей, травмування чи інший вплив на здоров'я, псування майна, втрати засобів життєзабезпечення

й послуг, соціальну та економічну дестабілізацію та/або деградацію навколишнього середовища (UNISDR, 2017; Staube-Delgado, 2019).

Згідно з вітчизняними науково-методичними та міжнародними публікаціями і документами небезпеки можуть мати природне, антропогенне або соціоприродне походження. Природні небезпеки переважно пов'язані з природними процесами та явищами (метеорологічними, гідрологічними, геологічними). Антропогенні (спричинені людиною або техногенні) небезпеки є наслідком повністю або переважно людської діяльності та вибору. Цей термін не включає виникнення або ризик збройних конфліктів та інших ситуацій соціальної нестабільності або напруженості, які підпадають під дію міжнародного гуманітарного права та національного законодавства. Техногенно-природні (або соціоприродні) небезпеки пов'язані з поєднанням природних та антропогенних факторів, включаючи деградацію навколишнього середовища. Небезпеки створюють загрози для життєдіяльності громади, їх треба враховувати при плануванні розвитку району на основі мінімізації ризиків, а також підвищити рівень обізнаності населення щодо природних та техногенних небезпек (Руденко, 2014; UNISDR, 2009; EU-funded Programme for the Prevention ..., 2014; Gutiérrez et al., 2014 та ін.).

За результатами аналізу особливостей геологічного природного середовища Солотвина визначено низку природних та природно-техногенних процесів, які є потенційно небезпечними для населення:

- карст та суфозія (осідання, карстові та карсто-суфозійні воронки, провали);
- повені та паводки, підтоплення;
- схиліві гравітаційні процеси (ерозія, зсуви).

Інженерна оцінка ураженості територій небезпечними природними та природно-техногенними процесами та оцінка можливостей/ймовірностей їх настання є визначальними для прийняття управлінських рішень з безпечного та раціонального використання території та об'єктування, визначення ризиків. Картографічне забезпечення цих робіт сприяє візуальному сприйняттю та просторовому аналізу, комплексній оцінці ступеня небезпек, визначенню черговості практичних заходів для запобігання, готовності та формування механізмів реагування на їх прояви, аналізу отриманої інформації широким колом користувачів: від місцевого населення та адміністрацій до міжнародного співтовариства (EU-funded Programme for the Prevention ...,

2014; European Commission, 2017; UN The Sendai Framework, 2017; UNISDR, 2017). Водночас необхідно відмітити відсутність або неузгодженість нормативно-правових документів, які регламентують роботи з вивчення та просторового аналізу поширення проявів зазначених небезпечних процесів та брак єдиної загальноприйнятої методичної основи виконання таких робіт (Яковлев, 2013). Проте вітчизняна геологічна школа має великий арсенал напрацювань визначення, ранжування, класифікації умов та чинників розвитку геоагроз та аналізу їх наслідків включно з прогнозуванням (Г.О. Білявський, І.Г. Черваньов, В.І. Осипов, О.Л. Рагозін, А.І. Зак, Є.С. Дзекцер, А.Б. Качинський, Є.О.Яковлев, О.М. Адаменко, В.М. Шестопалов, М.Г. Демчишин, Г.І. Рудько, В.А. Котляревський, А.В. Лущик, Я.М. Семчук, Е.Д. Кузьменко, В.В. Шевчук, О.М. Іванік, Т.Б. Чепурна, М.М. Сусідко та ін.).

Території, що зазнають негативного впливу небезпечних природних і природно-техногенних процесів, із використанням кількісних показників почали досліджувати з кінця 1950-х років та складати карти природних небезпек, які тоді були картами інженерно-геологічного районування територій (І.В. Попов, Г.С. Золотарьов, Л.Д. Білий, Г.А. Голодковський).

Найвідомішим прикладом карт природних небезпек за кордоном є національний план картування ZERMOS (зони підвищеної небезпеки зсуву ґрунтів) виконаний у 1972-1980 рр. фахівцями Франції, та роботи з зонування територій щодо зсувонебезпек – G.P. Meneroud та A. Calvino (1976), H. Kienholz (1978), M. Porcher та P. Guillope (1979), D.J. Varnes (1984) та ін. В останні роки геоінформаційні системи (ГІС) стали універсальним інструментом для візуалізації, аналізу, управління та моделювання просторових даних. На основі ГІС-технологій широкого практичного застосування набули методи математичного і статистичного аналізу, зокрема, описані в роботах: A. Yalcin (2008), Л.Г. Руденко, 2014; M. Musinguzi, I. Asimwe (2014), G. Fernandes, H. Assis, J. Rebolledo (2016), H. Jordan, D. Boon (2016), A. Hoseinpoor, M. Delavar, A. Chehregan (2016), R. Hidayah, N. Dzakiya (2018), A. Khadka, S. Dhakal, P. Budha (2018), F. Cotecchia et al. (2019), A. El Jazouli, A. Barakat, R. Khellouk (2019) та ін.

Сучасні дослідження ґрунтуються на картографічній базі даних у складі карти поширення небезпечних процесів, топографічної карти (ізогіпси рельєфу, річкова мережа, дороги, залізниця

та інші об'єкти антропогенного впливу), гідрогеологічних даних (рівні ґрунтових вод, структурна карта першого від денної поверхні водоупору), геологічних даних (карта четвертинних відкладів, структурно-тектонічна, диз'юнктивних порушень, літологічна тощо), метеорологічні дані (норма опадів). Склад бази даних залежить від наявності вихідної інформації та можливості її отримання в кожному конкретному випадку.

Для досягнення поставленої мети нами використано комплексний показник ураженості території небезпечними природними та природно-техногенними процесами на основі сумарного впливу всіх процесів, з виділенням провідних загроз.

Методологічно функції природних та природно-техногенних небезпечних процесів на локальному рівні можна розглядати як напівстохастичну (кількісно-ймовірнісну) сукупність (Яковлев, 2013). Тобто інтегральна оцінка ймовірності реалізації небезпечних процесів, а саме негативних наслідків від одномоментного прояву або кумулятивного ефекту постійних небезпечних природних та природно-техногенних процесів (R_{Γ}) може бути виконана за адитивною схемою (Яковлев, 2013):

$$R_{\Gamma} = f(r_1 + r_2 + r_3 + r_i),$$

де відповідно: r_1, r_2, r_3, r_i – просторово-часова ураженість території населеного пункту конкретним небезпечним природним та/або природно-техногенним процесом, таким як зсуви, схилова та яружна ерозія, карст, суфозія, просідання, підтоплення та затоплення.

Оцінка проявів природних та природно-техногенних небезпечних процесів виконувалась наступним чином:

- районування території за морфометричними характеристиками та геологічною будовою з попереднім виділенням ділянок, схильних до небезпечних процесів;

- проведення щоквартальних рекогносцирувальних та моніторингових маршрутних обстежень, для оцінки інтенсивності ураженості (відношення площі прояву до загальної площі ділянки) та сучасної активності природних та природно-техногенних процесів в межах виділених ділянок;

- розрахунок часової динаміки розвитку природних та природно-техногенних процесів з використанням архівних матеріалів;

- розрахунок сучасної просторової ураженості ділянок природних та природно-техногенних процесів;

- оцінка сучасного техногенного впливу з урахуванням функціонального використання території селища та цільового використання земель;

- побудова картосхеми зонування території за проявами природних та природно-техногенних процесів із застосуванням ГІС-технологій у цифровій векторній формі на актуалізований картографічній основі деталізації об'єктового складу у масштабі 1:5000;

- побудова інтегральної карти прояву природних та природно-техногенних процесів, що базується на ймовірності/забезпеченості комплексу факторів на період 100 років.

Для візуалізації просторових закономірностей поширення небезпечних природних та техногенних процесів в Солотвині розроблено схему зонування території – поділ поверхні землі на ділянки та ранжирування цих територій за ступенями фактичної чи потенційної небезпеки проявів небезпечних процесів.

Для картографічного забезпечення виконання робіт в якості вихідних матеріалів були використані: паперові карти, а саме дані топографічної зйомки території селища масштабу 1:5000 та окремих територій в межах соляного штоку масштабу 1:1000 різних років, актуалізований генеральний план смт Солотвина (2002 р.), архівні інженерні схеми та карти розміщення підземних виробок та прояву карстових процесів в межах Солотвинського родовища кам'яної солі; інтернет-сервіси Google Maps, Open Street Maps; дані Держгеокадастру про цільове використання земель селища; дані супутникової інтерферометрії (Envisat-ASAR від ESA 2003-2010, Sentinel-1, 16.03.2015 по 18.09.2016); власні картографічні матеріали (Шехунова та ін., 2015, Яковлев та ін., 2016); результати виконаних в рамках даної роботи маршрутних моніторингових обстежень (Shekhunova et al., 2019). Створена картографічна база даних в повному обсязі відображає геологічні, літологічні, гідрологічні особливості будови території, вулично-дорожню мережу, існуючу забудову, магістральні мережі інженерного облаштування території, підземні виробки Солотвинського родовища різних років, межі зон з особливим режимом використання території, сучасний розподіл земель за функціональним призначенням та цільовим використанням.

ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНУ РОБІТ В КОНТЕКСТІ РОЗВИТКУ НЕБЕЗПЕЧНИХ ПРИРОДНИХ ТА ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННИХ ПРОЦЕСІВ

Загальна площа досліджень становить майже 13 кв. км, з яких 11,1 кв. км – власне територія

селища, а решта – землі спеціального використання – прикордонна смуга, що безпосередньо прилягає до селища та відділяє його від р. Тиси.

Рельєф та прояви схлиових гравітаційних і гравітаційно-ерозійних процесів

Основні морфометричні характеристики рельєфу обумовлені розташуванням містечка на правому березі річки Тиси, між гірськими хребтами Славаном і Магурою та наявністю в надрах солянокупольної структури. Сельбищна територія знаходиться на розчленованому рельєфі з абсолютними відмітками від 257-295 до 390-400,8 м. Загалом схили становлять 25 % території та представлені уступами 1-ї та 2-ї надзаплавних терас р. Тиси та південним схилом г. Магури. Уступи терас короткі (до 50 м) круті ($15-45^\circ$) від північно-західної до південно-східної експозиції та є несприятливими і складними для забудови. Схил г. Магури – довгий (500-1000 м), середньої крутизни ($5-35^\circ$), від південно-західної до південно-східної експозиції. Крім того схили північної частини селища, тектонічно приурочені до опущеного,

відносно Солотвинського, блоку Дібровської антиклінали, характеризуються густим яро-балково-долинним розчленуванням ($1,4 \text{ км/кв. км}$). Яри розгалужені середні (завдовжки 250-1900 м), з крутими схилами ($15-45^\circ$), тимчасовими та постійними водотоками. Загалом всі схили заліснені, з численними ділянками «п'яного лісу». По всій площі відмічається підтоплення підніжжя внаслідок місцевого підпору вздовж лінійних об'єктів (рис. 1, 3), значної засміченості водовідвідних лотків, порушення поверхневого стоку ярів будівельними роботами. Активні зсуви відсутні, відмічаються невеликі локальні зсувні опливини, розміром $50-75 \times 75-100 \text{ м}$ (рис. 1 а), в межах західної частини схилу г. Магури наявний палеозсув розміром $300 \times 500 \text{ м}$. Сучасні прояви схлової ерозії приурочені до ділянок техногенного порушення (розрідження лісового покриву, підрізки підніжжя схилу без подальшого закріплення підпірними стінками, додаткового навантаження та підтоплення верхів'їв). Крім того, на схилах зафіксовані численні стихійні сміттєзвалища.



Рис. 1. Прояви схлової ерозії надзаплавних терас р. Тиса та техногенних споруд смт Солотвина:

а – мікросхливи (опливини) 1-ї, 2-ї надзаплавних терас р. Тиса на схилі городища «Читаття»; б – дестабілізація схилів 2-ї надзаплавної тераси р. Тиса техногенною діяльністю створення об'єктів рекреації. Вплив техногенної діяльності на розвиток небезпечних геологічних процесів; с – підрізка схилу залізничного полотна; d – розміщення рекреаційних об'єктів під стінкою обриву зсуву.

Fig. 1. Slope erosion manifestations of the Tysa River floodplain terraces and antropogenic / technogenic facilities in Solotvyno village:

а – microlandslides (soil flows) of the 1st, 2nd Tysa River floodplain terraces on the Chitattia hillfort slope; б – slopes destabilization of the 2nd Tysa River floodplain terrace caused by the technogenic activity of recreation objects development. The influence of technogenic activity on the development of hazardous geological processes: с – cutting of the railway track slope; d – placement of recreational facilities under the landslide cliff wall.

*Гідрологічні небезпечні процеси:
повені, паводки, підтоплення*

Одним з важливих факторів розвитку небезпечних процесів в Солотвині є гідрогеологічні умови, і в першу чергу прояви природного і техногенного підтоплення (локального і територіального). Вони обумовлюють ерозійну діяльність водотоків, глибину розкриття та ступінь дренажу товщ порід, інтенсивність затоплення, підтоплення та заболочування, і найбільш чутливі серед інших факторів до втручання людини. Зміна режиму підземних вод, яка спричиняється господарською діяльністю, може за короткий час викликати зміну інженерно-геологічних умов на значній площі, що в свою чергу веде до активізації небезпечних процесів. Найменш диференційовані слабонахилені ($0-5^\circ$) поверхні, з ускладненим поверхневим та підземним стоком, приурочені до заплави та поверхні терас р. Тиси. Територія заплави потрапляє в зону затоплення р. Тиси та потребує її картування й оцінки ризиків (Закарпатська..., 2011). Надзвичайно високі паводки в межах селища були зафіксовані в жовтні 1926, травні 1970, листопаді 1998 та березні 2001 років. В межах заплави фіксувалося мілководне затоплення (0,2-1,7 м в 1970 та 0,3-1,2 м в 1998 та 2001 роках) площею до 4 кв. км. Орієнтовний рівень

води в р. Тисі в місці сучасного розташування автоматичного гідрографу та митного переходу становив 260-263 м (проти середньорічного 257,8-261,2 м). Під час паводків 1998 та 2001 років було підтоплено 49 житлових будинків. Для захисту соляного тіла від затоплення в 1939 р. було побудовано дамбу з гравійно-галечникового матеріалу без облаштування захисту від підземних вод заввишки 6,5 м. Також територія заплави характеризується розвитком природного підтоплення. Параметри основного горизонту алювіальних відкладів заплави: глибина залягання 0,5-2,5 м, амплітуда коливання рівня 1,0-1,5 м, потужність 3,5-32 м, приурочений до валунно-галечникових відкладів з неоднорідними фільтраційними властивостями (коефіцієнт фільтрації 10-1375 м/добу). На ділянках розвитку ковачських туфів зафіксовано зростання п'єзопровідності та прискорення реакції водоносного горизонту під час паводків. На продовженні осі соляного куполу вниз за потоком відмічається поширення солоних та солонуватих вод на відстань 1000 м до кінця заплавної тераси (Шехунова та ін., 2015 за М.В. Фроловим, 1970 р.). Також в межах житлових кварталів відмічається незадовільне функціонування дощової каналізації (водозбірні лотки частково зруйновані або засипані побутовим сміттям рис. 2), наявність зон штучного під-



Рис. 2. Прояви підтоплення смт Солотвина: а – підтоплення ділянок прилеглих до русла Глоду у підніжжі 2-ї надзаплавної тераси р. Тиса; б – вплив підтоплення на стан будівель; в – захарашчене побутовим сміттям русло Глоду; д – скид води на схилі з «Тиса-штовльні».

Fig. 2. Flooding manifestations in Solotvyno village: a – flooding of areas adjacent to the Hlod stream bed at the foot slope of the 2nd Tysa River floodplain terrace; b – flooding effect on the condition of buildings; c – littering of the Hlod stream bed with household garbage; d – water discharge on the slope of the Tysa-drainage gallery.

пору ґрунтових вод поблизу розміщення насипів вулиць, шосейних та залізничних шляхів. Дані про підтоплення в межах смт Солотвина узагальнено на рис. 3.

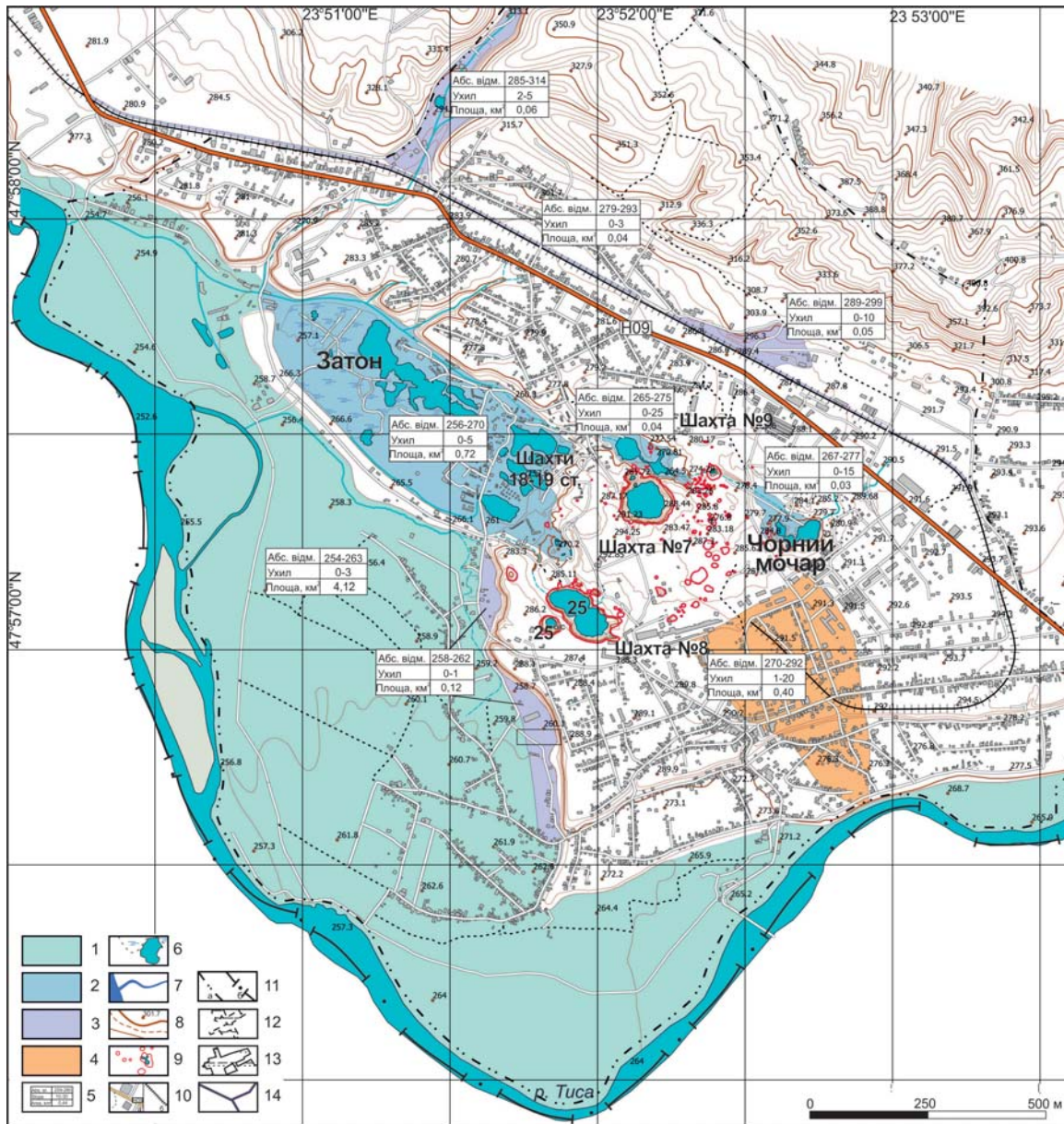


Рис. 3. Оцінка потенційної підтоплюваності території смт Солотвина.

Ділянки природного підтоплення (1-2): 1 – заплава р. Тиса, глибина залягання ґрунтових вод менше 3 м; 2 – над соляним штоком, глибина залягання ґрунтових вод менше 1 м; ділянки штучного підтоплення (3-4): 3 – локального підпору; 4 – прогнозованого підтоплення приуроченого до водовідливної Тиси-штольні; 5 – основні дані про ділянки прояву небезпечних екзогенних геологічних процесів (абсолютні відмітки, кути нахилу поверхні, площа прояву); 6 – озера та заболочені землі різного генезу; 7 – річки та струмки; 8 – горизонталі (крок 5 м) та гіпсометричні дані; 9 – карстові воронки; 10 – вулиці із забудовою, дороги, шосе Н09 (а), залізниця (б); 11 – контур смт Солотвина (а) та державний кордон (б)

Fig. 3. Areas of potential flooding assessment for Sotvyno.

Areas of natural flooding: 1 – Tysa River floodplain, groundwater depth less than 3 m; 2 – above the salt dome / body, the depth of groundwater is less than 1 m; 3 – local ground water ponding; 4 – forecasted flooding associated with the drainage Tysa-gallery; 5 – basic data as to hazardous exogenic geological processes manifestations areas (absolute elevations, slope angles, manifestation area); 6 – lakes and waterlogged areas of different genesis (natural and technogenic/anthropogenic); 7 – rivers and streams; 8 – horizontals (though 5 m) and hypsometric data; 9 – sinkholes and collapses outlines; 10 – streets with buildings, roads, highway H09 (a), railway (b); 11 – Sotvyno contour (a) and the state border zone (b).

Карстово-суфозійні та карстові процеси

Карстові процеси розвиваються в межах Солотвинської соляної діапирової дисгармонійної складки з відкритим ядром протикання, територіально розташованої в південній центральній частині містечка (рис. 3-5). Під алювіальними відкладами довжина довгої осі купола сягає 1,84 км, короткої – 0,71 км, площа 0,09 кв. км; на відмітці -81 м – 2,90 на 1,10 км та 2,05 кв. км відповідно. В плані по нульовій відмітці соляне тіло має форму трапеції з округлими кутами та довгою північною стороною під схилом г. Магури. Особливості морфології відбивають відмінності у будові західної та східної частин. Західна частина має видовжену форму з орієнтуванням довгої осі за карпатським простяганням. Східна – округла, а її довша вісь орієнтована на північний схід. Поверхня ядра соляної структури різного типу перекритості (покрита, перекрита), характеризується розчленованістю. Рельєф поверхні солі має абсолютні відмітки, що змінюються від +187 до +285 м. (Шехунова та ін., 2015). Активний перебіг карстових процесів визначають надсольові (осадові утворення квартера), навколосольові (солотвинська та тересвинська світи) та внутрішньосольові (верхньотереблінська підсвіта, наразі це переважно техногенно-карстові затоплених гірських виробок) води. Поверхневі карстопрояви представлені суфозійно-карстовими й провальними воронками, колодязями, карстовими деформаціями просідання, нерівномірно розміщеними по тілу соляного штоку. Проте загальну кількість закартованих у ХХ ст. карстопроявів встановити неможливо через постійну відсіпку їх

гравійно-галечниковим матеріалом. Крім того, до 2000-х років були наявні також останцеві карстові форми – соляні гриби та соляні скелі і спостерігався відритий карст.

Суфозійно-карстові воронки поширені на ділянках безпосереднього виходу соляного штоку під алювіальні відклади (рис. 4). Представлені одиночними або групами воронок округлої чи еліптичної форми діаметром 2-7 м, глибиною 1-3 м, крутизною бортів до 65-70°. Стінки воронок складені четвертинними суглинками та валунно-галечниковими відкладами. З 1945 року зафіксоване поступове зміщення груп карстово-суфозійних воронок із заходу на схід, з поступовим погіршенням підземного та поверхневого стоку, зростанням площі озер та заболочення на ділянці Затон. За даними моніторингових обстежень 1993-1998 років, зокрема, Л.В. Ніщенко (1998) та М.В. Петрика (2000), в районі старих шахт зафіксовано збільшення розмірів суфозійно-карстових воронок, їх злиття та формування складного карстового рельєфу. Швидкість карстоутворення становила 0,6-0,75 м/рік у горизонтальному напрямку та 0,4-0,5 м/рік у вертикальному. Також на цій ділянці було виявлено шість карстових колодязів – вузьких субвертикальних каналів – діаметром 2-2,5 м; глибиною 8-15 м; крутизною схилів 80-85°. На сьогодні основна кількість суфозійно-карстових воронок зосереджена на ділянці між шахтою № 7 та Чорним Мочаром – понад 90 з середнім діаметром 5,5 м, глибиною 1,5-3 м, щільність ураженості ділянки 0,5 шт./тис.кв. м, площинний коефіцієнт закарстованості 8,5 %.



Рис. 4. Прояви карстово-суфозійних процесів у смт Солотвині:

а, б – поля карстових воронок на ділянках між № 7 та № 9 шахтами.

Fig. 4. Karst and suffosion processes manifestations in Solotvyno village:

а, б – karst sinkholes fields in the area between No. 7 and No. 9 mines.

Провальні карстові воронки поширені на ділянках підземних робіт і утворюються переважно в результаті обвалення покрівлі підземних шахтних та водовідливних виробок. Перше масштабне задокументоване таке провалля утворилося в кінці лютого 1908 р. на шахті Кунігунда, де протягом доби в результаті двох послідовних обвалів було зруйновано стелину експлуатаційної камери, а утворена карстова воронка мала початковий діаметр близько 30 м, згодом – 60 м, видимої глибини понад 176 м. Пізніше, під час будівництва дамби, провалля було засипане гравійно-галечниковим матеріалом. Наступне масштабне провалля приурочене до шахти № 7, де спочатку в 1953 р. відбулося обрушення одного з ціликів на стелину третього горизонту. З 1965 р. після затоплення шахти відбувається постійне зростання розмірів провалля внаслідок зсувних процесів по стінках провалу, злиття та поглинання сателітних суфозійно-карстових воронк ослабленої зони. Від початку процесу затоплення шахт № 9 та № 8 швидкість збільшення карстового провалу в горизонтальному напрямку зростає від 0,5-1,5 м/рік в 1980-2003 роках до 8-10 м/рік в 2003-2018 роках. На сьогодні провал над виробками шахти № 7 має загальну площу 40,2 тис. кв. м з шириною ослабленої зони 30-50 м, площу водної поверхні 20 тис. кв. м. Над західним флангом шахти № 8 у районі сучасного провалу 25 ще з 40-х років минулого століття фіксувалося утворення та поновлення карстових воронк, незважаючи на постійну їх відсіпку гравійно-галечниковим матеріалом. Також на цій ділянці в покрівлі та на стінках західного верхнього штреку в товщі кам'яної солі було описано систему тріщин, промоїн та каверн заповнених піском, гальками та піщаною глиною. Вже на кінець 90-х років минулого століття тут нараховувалося 14 карстових воронк, карстовими процесами було зруйновано стеліни камер 5, 6 та 7, й атмосферні води отримали безпосередній доступ до покладів солі. На сьогодні провал 25 має загальну площу 43,4 тис. кв. м з шириною ослабленої зони до 100 м та площу водної поверхні 26,5 тис. кв. м. А провал 25-біс, утворений в квітні 2015 року, має площу 6 тис. кв. м з шириною ослабленої зони до 15 м, та площу водної поверхні 1,5 тис. кв. м. Загалом до шахтних полів рудників № 7, 8 та 9 приурочено 40 суфозійно-карстових та провальних воронк, щільність ураженості ділянки 0,1 шт./тис. кв. м, площинний коефіцієнт закарстованості 20 %. Ослаблені зони крупних карстових провалів уск-

ладнені численними деформаціями, представленими вертикальними багатоступінчастими тріщинами, що облямовують склепіння обвалення. Так в межах «Чорного Мочара» (орієнтовна площа 130 тис. кв. м) в 2007 р. відбулося стрибкоподібне утворення порожнини розрідження і обвалення з підвищенням рівня ґрунтових вод в результаті висхідної фільтрації, обумовленої відтисненням води з порожнини, подальшим формуванням низки озер (2008-2009 рр.), розширенням ослабленої зони в південно-східному напрямку (2009-2011 рр.), формуванням багатоступінчастих концентричних вертикальних тріщин з видимою сучасною висотою 0,3-1,8 м. З 2011 р. зафіксоване зростання водної поверхні озер, з подальшим їх злиттям (сучасна площа озера 10,2 тис. кв. м).

За весь час експлуатації родовища регулярних режимних спостережень за карстовим масивом соляного штоку не проводилось, спостереження мали фрагментарний характер та, головним чином, були приурочені до періодів активізації, що супроводжувалися зростанням водопритоків у водовідливні виробки. За архівними матеріалами тривалість періодів активізації становила 2-5 років, відносного затишшя – 1-10 років.

Вертикальні деформації земної поверхні

Вертикальні деформації земної поверхні містечка представлені нерівномірними осіданнями та підняттями в районах дії карстових, суфозійних, ерозійних процесів та підтоплення. В межах соляного штоку ділянки найінтенсивнішого осідання приурочені до інженерних водовідливних та видобувних споруд. Осідання в межах проммайданчиків шахт № 8 та № 9, встановлені за результатами інтерферометричних досліджень, представлених у звіті експертної місії ЄС в Україні – EU EUCPT report Advisory mission to Ukraine “Solotvyno salt mine area” (2016) та V. Velasco зі співавторами (Velasco et al., 2017), підтверджені маркшейдерсько-геодезичними роботами УкрНДМІ (Педченко, 2012). За результатами інструментальних досліджень встановлено, що в межах проммайданчику шахти № 9 осідання у 2010 році становило до 17 мм, сумарне за три роки (з вересня 2007 до вересня 2010 р.) – до 169 мм; під'їзної колії до проммайданчика шахти № 9 – до 19 мм та до 258 мм відповідно, в межах проммайданчика шахти № 8 виділено три локальні зони осідань з середньою швидкістю 10-20 мм/рік. Крім того, за даними інтерферометричних досліджень встановлено локальні

ділянки осідання в межах схилу г. Магури (2001-2016 рр.), житлових кварталів, що прилягають до підземних виробок шахт № 8 та № 9 (1997-2001 рр.), території рекреаційного призначення на ділянці затоплених старих шахт (2014-2016 рр.) з середньою швидкістю 5-10 мм/рік (Velasco et al., 2017).

ЗАКОНОМІРНОСТІ ПРОЯВІВ НЕБЕЗПЕЧНИХ ПРИРОДНИХ ТА ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННИХ ПРОЦЕСІВ: РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

За інтегральною комплексною оцінкою проявів небезпечних природних та природно-техногенних процесів, враховуючи їх природно-техногенний характер, територію смт Солотвина, умовно поділено на 16 зон (рис. 5). Найнебезпечніша зона катастрофічних проявів в межах східної частини соляного штоку (зона 1) характеризується постійним інтенсивним перебігом карсто-суфозійних процесів, що супроводжується утворенням численних провалів та вертикальних і горизонтальних деформацій поверхні (зона зрушення породного масиву), ускладнюється нерівномірними локальними осіданнями, засоленням, підтопленням, заболоченням, схиловою ерозією ґрунтів, зі значною непередбачуваною загрозою негативних їх проявів. Включає площі шахтних полів рудників № 7, 8, 9 та територію «Чорного Мочара». Додатково характеризується розущільненням соляного масиву з втратою несучої спроможності, значною деградацією ландшафту, невизначено довгим перебігом небезпечних карсто-суфозійних природних та техногенних процесів; відрізняється значною складністю ревіталізації та будь-якого залучення в економічну діяльність, потребує постійного інструментального моніторингу. За експертними оцінками вірогідність прояву небезпечних процесів у зоні оцінюється у 100 %, виходячи з того, що зона знаходиться в межах гірничого відводу та руйнування видобувних виробок затоплених соляних рудників. З 100 % проявами комплексу генетично пов'язаних процесів: карсто-провального в межах відпрацьованого та порушеного соляного масиву, осідань пухких перекриваючих порід, підтоплення, затоплення. Враховуючи значну глибинну техногенну порушеність соляного тіла, недостатню інформацію та складність техногенно-геологічних процесів по периферії зони в її межах оконтурено площу, в якій вірогідність прояву небезпечних геологічних процесів вимагає оцінки комплексу факторів (тектонічні пору-

шення як на контакті соляного тіла з вміщуючими породами, так і в межах самого соляного тіла, техногенний вплив та ін.). Карстонебезпека в цій зоні пов'язана з тим, що процес карстоутворення охоплює потужну товщу і є швидким, поширеним, але прихованим, може раптово реалізуватися як на поверхні, так і у підземному просторі, що загрожує життю людей та втратою майна, а також перешкоджає будівництву, експлуатації будівель, інженерних споруд. Територія проявів карсту приурочена до неглибокого залягання покрівлі соляного штоку, ділянок солевидобутку.

Зона потенційно небезпечних проявів карсто-суфозійних процесів (зона 2), що переважно проявляється в деформаціях та локальних нерівномірних осіданнях і супроводжується підтопленням, засоленням, мікрозсувами, схиловою ерозією та ерозією ґрунтів, виділяється в межах частини соляного штоку, техногенно та антропогенно порушеної внаслідок давньої гірничо-видобувної та сучасної рекреаційної діяльності. Характеризується нестабільним гідрогеологічним режимом та потребує додаткових заходів регулювання туристично-рекреаційної діяльності, облаштування зони санітарної охорони та постійного спостереження за якістю поверхневих та підземних вод. Також в межах соляного тіла на ділянці «Затон» виділено дві зони помірного прояву карсто-суфозійних процесів (зона 3, 5), що виражається в осіданнях та деформації, супроводжується утворенням озер різної солоності та/або заболочуванням з помірними проявами засолення. Зона незначних проявів підтоплення та карсто-суфозійних процесів (зона 13) виділена на південний схід від ділянки «Затон». Недовивченість її геологічної будови передбачає необхідність врахування ризиків проявів карсто-суфозійних процесів при активному освоєнні цієї території, яке має місце в останні роки. У зоні незначних проявів небезпечних природно-техногенних процесів (зона 14), вони представлені підтопленням, заболоченням, засоленням, забрудненням вуглеводнями. Найбільш інтенсивно процеси підтоплення відбуваються на територіях, що прилягають до заплав річок, струмків, каналів або підпрацьованих гірничими виробками тощо. Підтоплення в межах забудови, де фіксується стійке порушення природного режиму, зволоження та підняття рівня ґрунтових вод, призводить до значного погіршення умов проживання населення, функціонування господарських об'єктів і сприяє виникненню надзвичайних ситуацій.

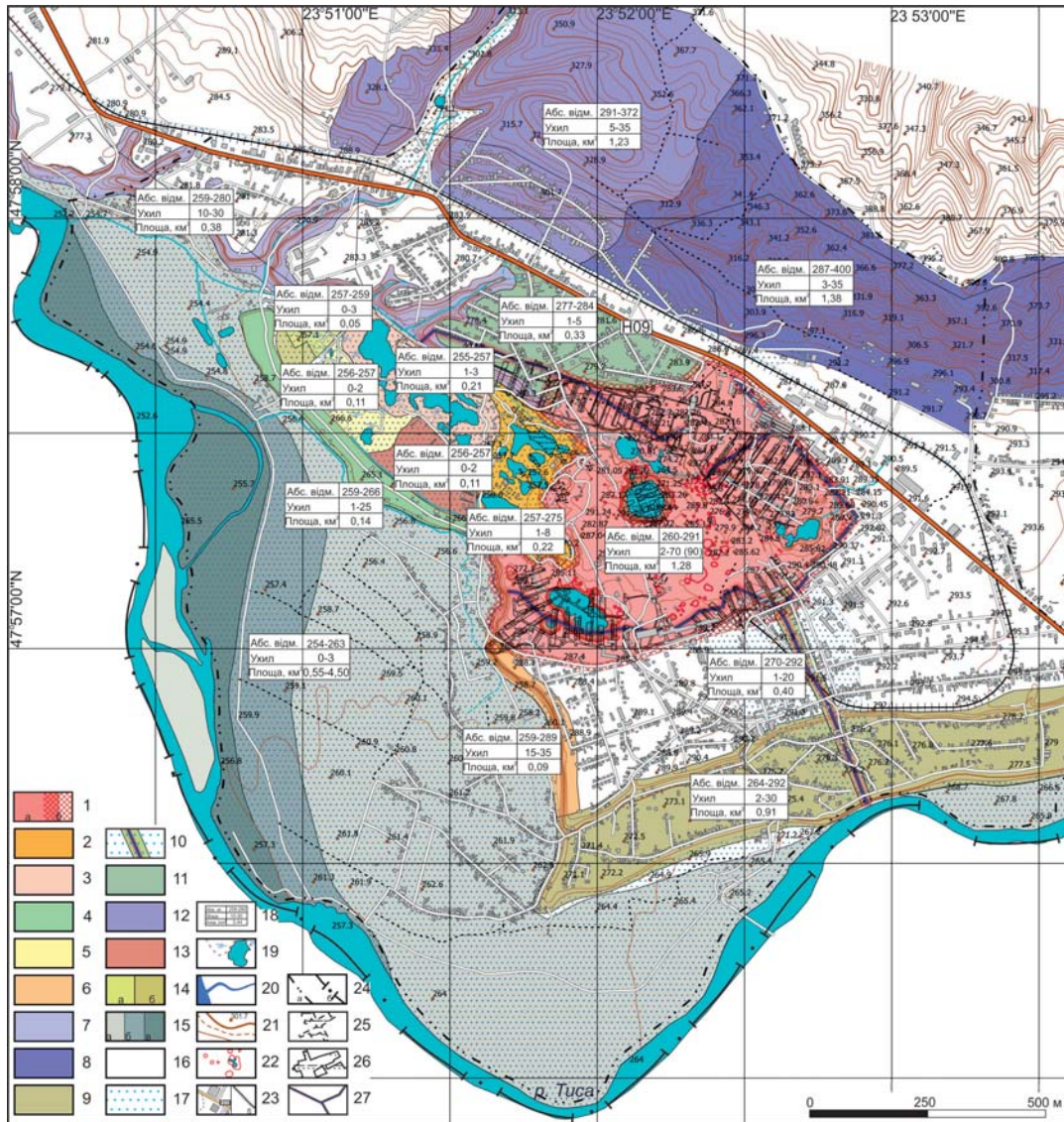


Рис. 6. Прояви небезпечних природних та техногенно-геологічних процесів смт Солотвина.

Зони проявів небезпечних процесів (1-16): 1 – катастрофічних (а) та невизначеного ступеня вірогідності (б): карстово-суфозійних провалів, просідань, зсувоутворення, ерозії (шахтних полів рудників № 7, 8, 9 та Чорного Мочара); 2 – потенційно небезпечних: просідань, карстово-суфозійних провалів, зрушень поверхні, мікрозсувів, ерозії тощо (техногенно та антропогенно порушена територія історичної гірничо-видобувної діяльності); 3 – помірних: розчинення соляних порід, формування озер різної солоності та деформації поверхні; 4 – помірних: схилової ерозії, суфозії, посилені антропогенною діяльністю на тілі протипаводкової дамби; 5 – помірних: підтоплення, заболочування, вилуговування (Затон); 6 – помірних: схилової ерозії, техногенного підтоплення тощо (західний схил 1-ї та 2-ї надзаплавних терас р. Тиси); 7 – помірних: схилової ерозії, яроутворення по успадкованих тектонічних порушеннях, техногенне підтоплення тощо (північно-західна частина схилів 1-ї та 2-ї надзаплавних терас р. Тиси); 8 – незначних: схилової ерозії, палеозсувів (східний схил г. Магура); 9 – незначних: схилової ерозії, підтоплення (південно-східний схил 1-ї та 2-ї надзаплавних терас р. Тиси); 10 – помірних: прогнозованого техногенного підтоплення після порушення функціонування Тиса-штовлі; 11 – незначних: суфозії на ділянці впливу тектонічних порушень, техногенного підтоплення (західний фланг шахти № 9); 12 – незначних: схилової ерозії, яроутворення, періодичного техногенного підтоплення (західний схил г. Магура); 13 – незначних: підтоплення, засолення; 14 – незначних: осідань, заболочення, засолення, забруднення вуглеводнями (південна (а) та північна (б) частина підземного покинутого об'єкта інфраструктури); 15 – потенційно небезпечних та помірних: затоплення паводками 3 % (а), 50 % (б), 75 % (в) забезпечення; 16 – без візуально встановлених проявів; 17 – підтоплення різного генезису; 18 – основні дані про ділянки прояву небезпечних екзогенних геологічних процесів (абсолютні відмітки, кути нахилу поверхні, площа прояву); 19 – озера та заболочені землі різного генезу; 20 – річки та струмки; 21 – горизонталі (крок 5 м) та гіпсометричні дані; 22 – карстові воронки; 23 – вулиці із забудовою, дороги, шосе Н09 (а), залізниця (б); 24 – контур смт Солотвина (а) та державний кордон (б); 25 – орієнтовні контури шахт; 26 – контури шахт (за наявними детальними схемами, зведені); 27 – головні водовідливні виробки.

Окремою зоною є тіло противопаводкової дамби з помірними проявами схилової ерозії, суфозії, посилених антропогенною діяльністю (зона 4).

Гравітаційно-схилові екзогенні геологічні процеси зумовлюють руйнування схилу шляхом переміщення пухкого матеріалу або блоків корінних порід вниз по схилу під впливом сили тяжіння. До них належать обвали, осипи, зсуви. На схилах виділено п'ять зон помірних проявів схилової ерозії, ускладнених яроутворенням по усадкованих тектонічних порушеннях, палеозсувами, зсувами-потоками, підтопленням, додатковим техногенним навантаженням та підрізанням схилів в межах: південно-західної, західної та південно-східної частин схилів 1-ї та 2-ї надзаплавних терас р. Тиси (зони 6, 7), південно-західної та південно-східної частин схилу г. Магури (зони 8, 12). Причиною прискорення схилових гравітаційних процесів може бути перезволоження ґрунту дощовими опадами, танення снігів, землетруси, підмив схилів та непродумана діяльність людини (підрізка схилу, вибухові та земляні роботи, вирубка лісу на схилах пагорбів та інше). Активізація зсувів залежить, зокрема, від інтенсивності зволоження схилу підземними та поверхневими водами. Рекомендації із зниження небезпек проявів схилових процесів полягають в уникненні / обмеженні діяльності з дестабілізації схилів: їх перезволоження, підтоплення, підрізки.

В межах житлових кварталів виділено ділянку

незначних проявів просідань та суфозії (зона 9), що безпосередньо примикає до західного флангу шахти № 9 та північної водовідливної штольні. Ділянка прогнозованого техногенного підтоплення, суфозії, осідань з ймовірністю локальних провалів приурочена до водовідливної Тиса-штольні (зона 9). Особливої уваги потребує ділянка схилу прилегла до виходу Тиса-штольні (накладення зон 9 та 10) у зв'язку з можливою активізацією водно-ерозійних процесів, зокрема при паводках та повенях на р. Тисі.

В межах заплавної тераси виділено три зони потенційного затоплення повенями та паводками р. Тиси: небезпечних та помірного прояву різного ступеня забезпеченості (3%, 50%, 75%), ускладненими тривалим підтопленням різного генезису. Повені на гірських річках, таких як Тиса в Солотвині, формуються дуже швидко, що ставить високі вимоги щодо оперативності прогнозування та оповіщення населення. Ризики затоплення в Солотвині від повеней та паводків прогножуються в заплаві р. Тиси. Тому особливу увагу треба приділити захисту водозбору та очисних споруд, які знаходяться в зонах повеней та паводків.

Центральна частина селища (зона 16) характеризується відсутністю візуальних проявів небезпечних природно-техногенних процесів та потребує детального інструментального обстеження в зв'язку з розміщенням значної кількості об'єктів критичної інфраструктури (навчальних закладів, тощо) поряд з шахтним полем рудника № 8.

Fig. 6. Inventory map of hazardous technogenic-geological and engineering-geological processes.

Zones of hazardous processes manifestations (1-16): 1 – catastrophic (a) and undefined degree (b): karst-suffusion sinkholes, subsidence, collapses, landslide formation, erosion etc. (the area of mine fields of shafts No. 7, 8, 9 and Black Mochar); 2 – potentially dangerous: subsidence, karst-suffusion sinkholes, surface displacement, micro-landslides, erosion etc. (anthropogenically and technogenically disturbed territory of historical mining activities); 3 – moderate: rock salt dissolution, formation of lakes of different salinity and surface deformation; 4 – moderate: slope erosion and suffusion, enhanced by anthropogenic activity on the dam main body; 5 – moderate: flooding, waterlogging, leaching (Zaton area); 6 – moderate: slope erosion, technogenic flooding etc. (southwestern slope of the 1-st Tysa River floodplain terrace); 7 – moderate: slope erosion, ravine formation due to inherited tectonic disturbances, technogenic flooding etc. (western part of the Tysa River 1-st and 2-nd floodplain terraces slopes); 8 – insignificant: slope erosion, paleolandslides, etc. (Mahura mount slope); 9 – insignificant: slope erosion, paleolandslides, flooding etc. (1-st and 2-nd Tysa River floodplain terrace southeastern slope); 10 – moderate: potential technogenic flooding after Tysa drainage gallery collapse; 11 – insignificant: manifestations of suffusion in tectonic disturbances influence area, technogenic flooding etc. (mine No. 9 western flank); 12 – insignificant: slope erosion, periodical technogenic flooding (Mahura mount); 13 – insignificant: manifestations of flooding; 14 – insignificant: hydrocarbon contamination (southern (a) and northern (b) part of the abandoned underground infrastructure facility); 15 – potentially dangerous, moderate: floods and flooding with various degree of reliability (probability) 3 %, 50 %, 75 % respectively; 16 – without visually established hazardous processes manifestations; 17 – potentially dangerous, moderate manifestations: flooding of different genesis; 18 – basic data as to hazardous exogenous geological processes manifestation areas (absolute elevations, surface slope, area of manifestation); 19 – lakes and waterlogged lands of different genesis (natural and technogenic/anthropogenic); 20 – rivers and streams; 21 – horizontals (though 5 m) and hypsometric data; 22 – sinkholes and collapses outlines; 23 – streets with buildings, roads, highway H09 (a), railway (b); 24 – Solotvyno contour (a) and the state border zone (b); 25 – contours of mines (approximative); 26 – contours of mines (according to detailed engineering schemes, combined); 27 – main drainage galleries.

ВИСНОВКИ

За результатами аналізу особливостей геологічного природного середовища смт Солотвина визначено низку природних та природно-техногенних процесів, які є потенційно небезпечними для населення: карст та суфозія (осідання, карстові та кастово-суфозійні воронки, провали); повені та паводки, підтоплення; схилі гравітаційні процеси (ерозія, зсуви).

Закономірності проявів зазначених процесів узагальнено у схемі зонування території, яка базується на експертних оцінках даних: частоти та масштабу раніше зафіксованих проявів небезпечних геологічних процесів, змін в топографії та геоморфології, геодезичної зйомки, даних дистанційного зондування (спутникових знімків, диференційного інтерферометричного аналізу), власних систематичних польових спостережень, у поєднанні з узагальненими результатами попередніх робіт і моніторингових досліджень рівня поверхні в різні роки, різними методами, різними колективами.

Найнебезпечнішими є зони катастрофічних та потенційно небезпечних проявів карстово-

суфозійних процесів в межах східної частини соляного штоку.

Описані процеси створюють загрози для безпечної життєдіяльності громади, їх треба враховувати при плануванні землекористування, щоб забезпечити розвиток селища на основі мінімізації ризиків, підвищити рівень обізнаності населення щодо природних та техногенних небезпек.

Виконані роботи ще раз засвідчують існування складної геоекологічної ситуації в смт Солотвино, першим кроком для вирішення якої має бути геологічне довивчення зон карстово-суфозійних процесів та запровадження системи постійного геоекологічного моніторингу Солотвинської солянокупольної структури.

Стаття підготовлена за результатами досліджень за проектом «Зниження ризиків прояву небезпечних процесів у Закарпатському регіоні, Україна» / «Improving Disaster Risk Reduction in Transcarpathian Region, Ukraine (ImProDiReT)», договір № II-5-19 від 16 травня 2019 р., який виконано за бюджетною програмою НАН України КПКВК 6541230 «Підтримка розвитку пріоритетних напрямів наукових досліджень».

Manuscript received October 18, 2019;
revision accepted November 05, 2019

Інститут геологічних наук НАН України,
Київ, Україна

REFERENCES

- Transcarpathian region. Planning Scheme. V. 1. Explanatory note., 2011. 200 p. (In Ukrainian)
- Kityk V.I., Bokun A.N., Panov G.M. i dr., 1983. Galogenne formacii Ukrainy: Zakarpatskij progib. (Halogen formations of Ukraine: Transcarpathian region.). 168 p. (In Russian).
- Pedchenko S., 2012. The impact of flooded mine workings of the mine no. 8 Solotvino salt mine on the ground surface of the region. *Up-to-date resource- and energy-saving technologies in mining industry*. 1 (9). Pp. 113-123. (In Ukrainian)
- Rudenko L., Dronova. O., 2014. Evaluation and mapping of state of emergency risk in Ukraine european context. *Ukrainian Geographical Journal*, 1, Pp. 53-60. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2014.01.053> (In Ukrainian)
- Shekhunova, S.B., Aleksieienkova, M.V., Stadnichenko, S.M., Siumar, N.P., 2015. The integrated geological model of Solotvyno structure as a tool to assess geoeological sustainability of Solotvyno rock-salt deposit. *Collection of Scientific Works of the Institute of Geological Sciences NAS of Ukraine*, 8, Pp. 233-250. DOI: <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2015.146791> (In Ukrainian)
- Закарпатська область. Схема планування території. Том 1. Пояснювальна записка. Київ; 2011. 200 с.
- Китык В.И., Бокун А.Н., Панов Г.М. и др. Галогенные формации Украины: Закарпатский прогиб. Киев: Наукова думка, 1983. 168 с.
- Педченко С.В. Вплив затоплення гірничих виробок шахти № 8 Солотвинського солерудника на денну поверхню регіону *Сучасні ресурсо енергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2012. В. 1 (9). С.113-123.
- Руденко Л. Г., Дронова О. Л. Оцінювання й картографування ризиків виникнення надзвичайних ситуацій в Україні – європейський контекст. *Український географічний журнал*. 2014. № 1. С. 53-60.
- Шехунова С. Б. Алексєєнкова М. В., Стадніченко С. М., Сьюмар Н. П. Інтегральна геологічна модель Солотвинської структури як інструмент оцінки геоекологічного стану Солотвинського родовища кам'яної солі *Зб. наук. праць Інституту геологічних наук НАН України*. 2015. Т. 8. С. 233-250. DOI: <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2015.146791>

- Yakovlev, E.O., Shekhunova, S.B., Aleksieienkova, M.V., Siumar, N.P., 2016. Assessment of complex stress-strain state of the Sotolvyno salt anticline structure (basing on technique of natural pulse electromagnetic field of the Earth). *Collection of Scientific Works of the Institute of geological Sciences NAS of Ukraine*, 9, Pp. 83-96. DOI: <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2016.144246> (In Ukrainian)
- Yakovlev E., 2013. Assessment of the Environmental and Technogenic Security of Ukrainian Cities and Towns. *Strategic Priorities*, 4, Pp. 146-157. (In Ukrainian).
- EU-funded Programme for the Prevention, Preparedness and Response to Man-made and Natural Disasters in the ENPI East Region (PPRD East), 2014. Civil protection operational guidebook. 117 p. (In English)
- European Commission, 2017. Overview of Natural and Man-made Disaster Risks the European Union may face. 112 p. (In English).
- Gutiérrez F., Parise M., DeWaele J., Jourde H., 2014. A review on natural and human-induced geohazards and impacts in karst. *Earth-Science Reviews* 138. Pp. 61–88. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2014.08.002> (In English).
- Shekhunova S.B., Aleksieienkova M.V., Meijer S.D., Stadnichenko S.M., Yakovlev E.O., 2019. Monitoring of hazardous geological processes as a tool for risks minimization on post-mining areas in Sotolvyno (Transcarpathian region, Ukraine) XIII International Scientific Conference “*Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*” Pp. 12–15. November 2019, Kyiv, Ukraine DOI: 10.3997/2214-4609.201903197 (In English).
- Staupe-Delgado, R., 2019. Analysing changes in disaster terminology over the last decade, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, vol. 40, 101161, <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101161>. (In English).
- UN., 2017. Sendai Framework For Disaster Risk Reduction 2015-2030. 36 p. (In English).
- UNISDR, 2009. UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction, United Nations Office on Disaster Risk Reduction, Geneva, Switzerland. (In English).
- UNISDR, 2017. National Disaster Risk Assessment: Words into Action Guidelines, The United Nations Office for Disaster Risk Reduction, Geneva, Switzerland, 303 p. (In English).
- Velasco V., Sanchez C., Papoutsis I., Antoniadis S., Kontoes C., Aifantopoulou D., Paralykidis S. 2017. Ground deformation mapping and monitoring of salt mines using InSAR technology, SMRI Fall 2017 Technical Conference 25-26 September., Munster, Germany, 20 p. (In English).
- Яковлев Є. О., Шехунова С. Б., Алексеєнкова М. В., Сюмар Н. П. Оцінка напружено-деформованого стану порід Солотвинської солянокупольної структури в Закарпатті (за результатами методу природних імпульсів електро-магнітного поля Землі) *Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України*. – 2016. – Т.9. – С. 83-96. DOI: <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2016.144246>
- Яковлев Є.О. Оцінка еколого-техногенної безпеки міст і селищ України *Стратегічні пріоритети*. 2013. № 4. С. 146-157.
- EU-funded Programme for the Prevention, Preparedness and Response to Man-made and Natural Disasters in the ENPI East Region (PPRD East). Civil protection operational guidebook. 117 p.
- European Commission. Overview of Natural and Man-made Disaster Risks the European Union may face. 2017. 112 p.
- Gutiérrez F., M. Parise, J. DeWaele, H. Jourde A review on natural and human-induced geohazards and impacts in karst (2014) *Earth-Science Reviews* 138 (2014) 61–88 DOI:<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2014.08.002>
- Shekhunova S.B., M.V. Aleksieienkova, S.D. Meijer, S.M. Stadnichenko, E.O. Yakovlev Monitoring of hazardous geological processes as a tool for risks minimization on post-mining areas in Sotolvyno (Transcarpathian region, Ukraine) 13-th International Scientific Conference “*Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*” 12-15 November – Kyiv, Ukraine, 2019 DOI: 10.3997/2214-4609.201903197
- Staupe-Delgado R. Analysing changes in disaster terminology over the last decade. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2019. Vol. 40. 101161, <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101161>
- UN Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030. 2017. 36 p.
- UNISDR, National Disaster Risk Assessment: Words into Action Guidelines, The United Nations Office for Disaster Risk Reduction, Geneva, Switzerland, 2017. 303 p.
- UNISDR. UNISDR terminology on disaster risk reduction, United Nations Office on Disaster Risk Reduction. Geneva, Switzerland, 2009
- Velasco V., Sanchez C., Papoutsis I., Antoniadis S., Kontoes C., Aifantopoulou D., Paralykidis S. Ground deformation mapping and monitoring of salt mines using InSAR technology *SMRI Fall 2017 Technical Conference* 25-26 September. – Munster, Germany. 2017. 20 p.