

Державна служба України з надзвичайних ситуацій
Львівський державний університет безпеки життєдіяльності
Навчально-науковий інститут цивільного захисту
Кафедра екологічної безпеки

«Допущено до захисту»
Завідувач кафедри екологічної безпеки,
д. с.-г. н., професор
_____ Андрій КУЗИК
«__» _____ 2023 року

ДИПЛОМНА РОБОТА МАГІСТРА

на тему: "Екологічна небезпека карстових провалів в зоні впливу Стебницького гірничохімічного комбінату та їх вплив на довкілля"

Виконав:
здобувач 6 курсу, групи ЕК – 61мз
спеціальності 101 «Екологія»
Урдей Т.М.
Керівник:
д. с.-г. н., професор Кузик А.Д.
Рецензент:
к.с.-г.н., доцент Шукель І.

Львів – 2023 року

4. Зміни в екосистемах, пов'язані з карстовими проваллями
5. Перелік графічного матеріалу: презентація Microsoft Power Point.
6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
РОЗДІЛ 1. Карстові провалля як екологічне явище	Карабин В.В., д.т.н., професор		

7. Дата видачі завдання: « 21 » 11 2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1. Карстові провалля як екологічне явище	20.11 – 27.11.2022	
2	Розділ 2. Екологічна характеристика району розташування	28.11 – 14.12.2022	
3	Розділ 3. Характеристика діяльності комбінату та його вплив на довкілля	25.12 – 28.12.2022	
4	Розділ 4. Зміни в екосистемах, пов'язані з карстовими проваллями	08.01 – 18.01.2023	
6	Підготовка презентації та доповіді	30.01 – 04.02.2023	

Здобувач _____
(підпис)

Тарас УРДЕЙ
(ім'я та прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Андрій КУЗИК
(ім'я та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Урдей Т.М. «Екологічна небезпека карстових провалів в зоні впливу Стебницького гірничохімічного комбінату та їх вплив на довкілля». Дипломна робота магістра за спеціальністю 101 «Екологія». Складається з текстової частини, що містить 4 розділи, 60 сторінок, 24 рисунків, 2 таблиць, 69 літературних джерел.

Предметом дослідження було зона впливу рудника №2 Стебницького ГХП «Полімінерал» фізико-хімічних склад проб води та ґрунту з території поблизу провалля.

Об'єктом виступали проби води та ґрунту з провалля поблизу згаданого вище підприємства.

Метою представленої роботи було проаналізувати діяльність Стебницького гірничохімічного комбінату у зоні впливу рудника №2, зокрема вплив на довкілля, що призвело до виникнення карстових провалів.

Методи дослідження: порівняльний аналітичний огляд літературних даних; фотоколориметричний та інші методи аналізу природних вод.

За матеріалами відкритих джерел узагальнено інформацію про фізико-хімічні параметри даного підприємства. Відібрано та лабораторно досліджено 4 проби води з озера в проваллі та 4 проби субстрату у безпосередній близькості до нього з усіх сторін горизонту. У воді виявлено поодинокі випадки перевищення ГДК шкідливих компонентів. У пробах субстрату надлишку основних ймовірних полютантів не зафіксовано.

ПІДПРИЄМСТВА ГІРНИЧО ХІМІЧНОГО ПІДПРИЄМСТВА,
ПРОВАЛЛЯ, КАРСТОВІ ПРОВАЛЛЯ, ВОДОЙМИ, СУБСТРАТИ,
ЗАБРУДНЕННЯ, ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ПАРАМЕТРИ.

SUMMARY

Urdey T.M. "Ecological hazards of karst collapses in the impact zone of the Stebnyk mining and chemical plant and their impact on the environment". It consists of a text part containing 4 chapters, 60 pages, 24 figures, 2 tables, 69 references.

Master's thesis in the specialty 101 "Ecology". The thesis consists of a text part containing

The subject of the study was the zone of influence of the mine No. 2 of the Stebnytsia MCC Polymineal on the physicochemical composition of water and soil samples from the area near the sinkhole.

The object was water and soil samples from the sinkhole near the above-mentioned enterprise.

The purpose of this work was to analyze the activities of the Stebnytsia Mining and Chemical Plant in the area of influence of mine No. 2, in particular the environmental impact that led to the emergence of sinkholes.

Research methods: comparative analytical review of literature data; photolorimetric and other methods of natural water analysis.

Information on the physical and chemical parameters of this enterprise was summarized based on open sources. Four samples of water from the lake in the sinkhole and four samples of the substrate in the immediate vicinity of the lake from all sides of the horizon were collected and analyzed in the laboratory. Single cases of exceeding the MPC of harmful components were found in the water. No excess of the main probable pollutants was detected in the substrate samples.

MINING AND CHEMICAL ENTERPRISE, SINKHOLES, KARST SINKHOLES, WATER BODIES, SUBSTRATES, POLLUTION, PHYSICAL AND CHEMICAL PARAMETERS.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. КАРСТОВІ ПРОВАЛЛЯ ЯК ЕКОЛОГІЧНЕ ЯВИЩЕ	8
1.1. Причини виникнення карстових проваль	8
1.2. Негативний вплив на екосистему	16
РОЗДІЛ 2. ЕКОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНУ РОЗТАШУВАННЯ	20
РОЗДІЛ 3. ХАРАКТЕРИСТИКА ДІЯЛЬНОСТІ КОМБІНАТУ ТА ЙОГО ВПЛИВ НА ДОВКІЛЛЯ	23
3.1. Характеристика підприємства	23
3.2. Вплив на довкілля	29
3.3. Виникнення карстових проваль	33
РОЗДІЛ 4. ЗМІНИ В ЕКОСИСТЕМАХ, ПОВ'ЯЗАНІ З КАРСТОВИМИ ПРОВАЛЛЯМИ	42
4.1. Рослинне покриття	42
4.2. Фізико-хімічний аналіз води	46
4.3 Фізико хімічний аналіз субстрату	48
ВИСНОВКИ	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	53
ДОДАТКИ	60

ВСТУП

Територія Стебницького родовища вважається одним з ареалів загрозового екологічного стану в Карпатському регіоні. Проникнення води в підземні порожнини, утворені за роки експлуатації, призводить до розмивання перегород, просідання земної поверхні й утворення провалів [5].

Ділянка досліджень розміщена в зоні впливу рудника № 2 Стебницького родовища калійної солі. Площа родовища становить 28,8 га та займає шахтні стовбури “Західний” рудника № 1 і “Східний” рудника № 2 (який на сьогодні є зруйнований), солевідвали, промислові споруди. Місцевість займає пагорбистий рельєф з абсолютними позначками +300–+360 м. Для дослідженої території характерні техногенні зміни рельєфу, пов’язані з порушенням геологічного середовища внаслідок добувної діяльності. Зокрема, ліквідація шахтного стовбура “Східний” зумовлена розвитком карстових процесів, зону поширення. Витікання надсольових вод у стовбур “Східний” спостерігали із часу його проходження 1962 року на глибині 102–123 м.

Інженерно-геологічні та гідрогеологічні дослідження на території Стебницького родовища проводили в різні роки різні організації, за винятком спеціального гідрогеологічного вивчення всієї території родовища та його флангів загалом.

Метою даної роботи є визначення екологічної небезпека карстових провалів в зоні впливу Стебницького гірничохімічного комбінату та їх вплив на довкілля.

РОЗДІЛ 1. КАРСТОВІ ПРОВАЛЛЯ, ЯК ЕКОЛОГІЧНЕ ЯВИЩЕ

1.1. Причини виникнення карстових провалів

Карст є небезпечним екзогенним геологічним процесом (ЕГП), прояви якого значно поширені на території України. Карст виникає в тих районах, де розповсюджені розчинні у воді гірські породи – карбонатні, сульфатні, кам'яна та калійна солі. Відповідно до цього розрізняють карст карбонатний, сульфатний і соляний. При розчиненні та вилуговуванні поверхневими і підземними водами вапняків, доломітів, крейди, мергелів, гіпсу, кам'яної солі на поверхні землі утворюються воронки, провали та інші форми рельєфу, а в товщі гірських порід різноманітні порожнини, канали, печери. Для карстових районів характерні численні приклади деформацій і провалів споруд. Часто внаслідок катастрофічного розвитку екзогенних геологічних процесів, і карстових процесів зокрема, відбуваються аварійні ситуації на об'єктах трубопровідного транспорту.

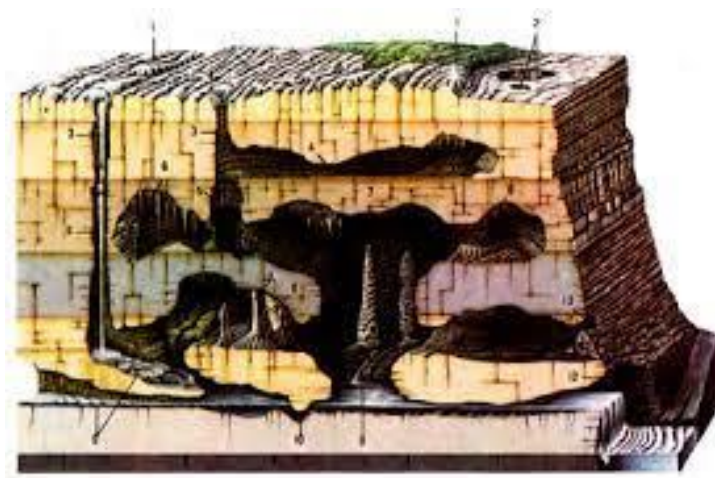


Рис. 1.1 Схематичне зображення карстової печери [40]

Україна володіє розгалуженою газотранспортною системою, об'єкти якої часто розміщуються в геодинамічно активних зонах і можуть піддаватись діям механічних навантажень унаслідок розвитку небезпечних геодинамічних процесів, куди відносять і карстові [40]. У кінцевому результаті це може призвести до деформацій і руйнування труб та інших технологічних конструкцій.

Здатними до карстоутворення є території Львівської, Тернопільської, Чернівецької, Івано-Франківської областей [41]. Карстові площі мають різні ступені стійкості, тобто різну інтенсивність утворення карстових провалів, що визначається природно-техногенними умовами кожної окремої території. Тому питання дослідження умов розвитку карстових процесів при розробці прогностичних моделей є актуальним.

Дослідженнями карстових процесів займається ряд вчених в Україні, серед яких варто відмітити вітчизняних науковців: О.М. Адаменка, В.Н. Андрейчука, А.М. Гайдіна, С.В. Гошовського, В.Н. Дублянського, О.Б. Климчука, Г.І. Рудька, Я.М. Семчука та багатьох інших.

Роботами, в яких широко висвітлено проблему карсту як геологічного явища, є праці Д.С. Соколова, Г.А. Максимовича, Н.А. Гвоздецького, D.C. Ford, P.W. Williams, у яких детально описано усі аспекти карстового процесу – умови утворення, геоморфологію, гідрологію тощо.

Важливою проблематикою, якій присвячено значну кількість наукових праць, є вплив карстових процесів на інженерні споруди та прогнозування розвитку карстових процесів, а також питання інженерного захисту територій. Серед таких праць варто відмітити [42-49]. Таких робіт є небагато та найчастіше зустрічаються праці по оцінці можливостей поширення карстових провалів у просторі, які визначають шляхом районування території за певними ознаками – поширеністю карстових порід, щільністю карстопроявів на території тощо. На сучасному етапі виокремився напрямок у прогнозуванні ЕГП, який передбачає визначення небезпеки за факторами, які ініціюють процес. Сюди можна віднести праці [50-54]. Алгоритми передбачають розрахунки кількісних факторних характеристик у точках карстопроявів, статистичних аналізів отриманих рядів даних з подальшими розрахунками інтегрального показника, на основі якого створюються прогностичні карти.

Карстовий процес являє собою суттєво тривалий процес розчинення та вилуговування, тріщинуватих розчинних гірських порід підземними і поверхневими водами. Внаслідок діяльності карстових процесів виникають як

негативні форми рельєфу на земній поверхні, так і різні порожнини каналів гроти або печери на глибині. Загалом сам термін «карст» походить від спотвореної австрійської назви плато Карст у Словенії, на якому ці явища яскраво виражені та добре вивчені європейськими дослідниками. Карстові явища поширені надзвичайно широко по всьому світі. За геологічними умовами приблизно третина площі суші земної кулі має потенційні можливості для їх розвитку.

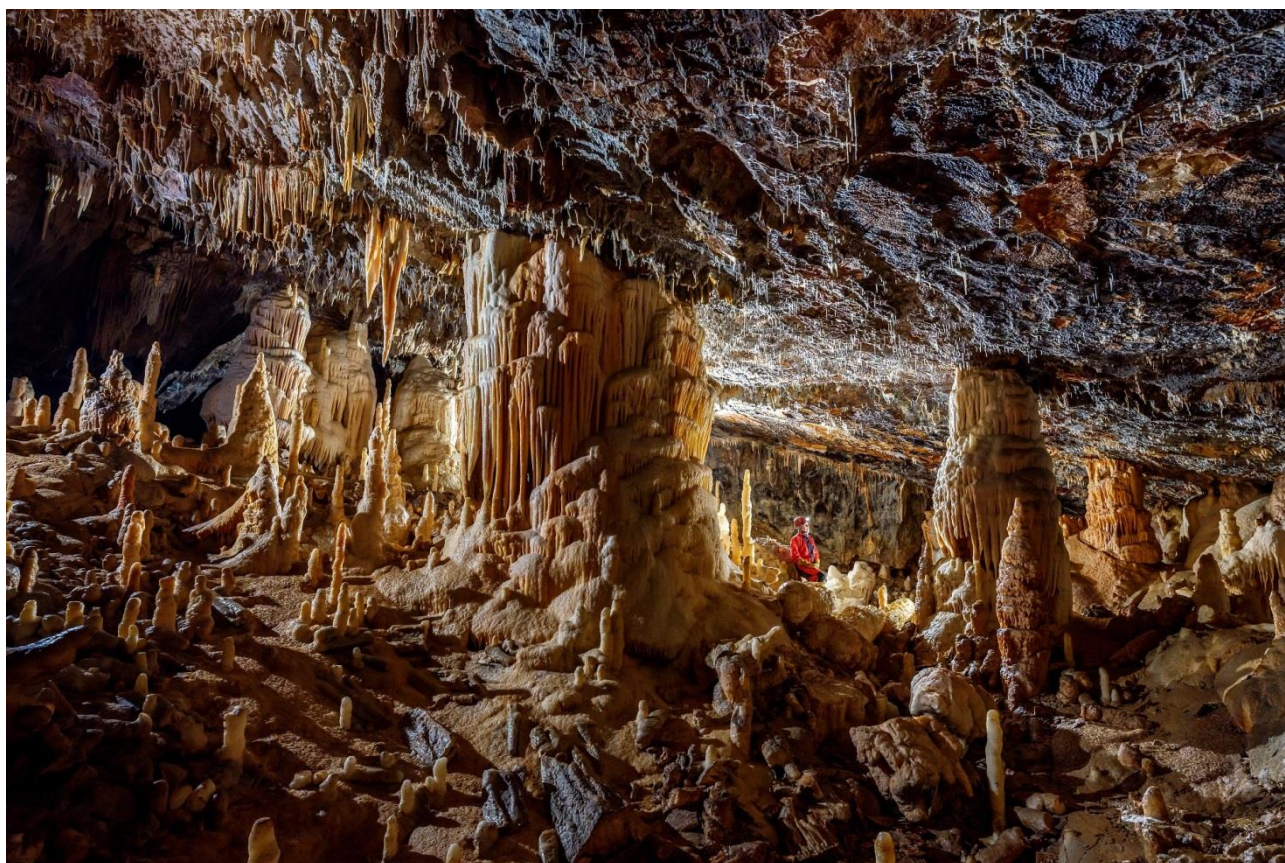


Рис. 1.2 Карстова печера у Словенії [45]

На сьогоднішній день, існує декілька умов за яких відбувається розвиток карстових явищ.

1. гірська порода, водопроникна внаслідок тріщинуватості чи пористості.
2. розчинник (води, яка є агресивною до гірської породи).
3. умови, які забезпечують водообмін – відтік насиченої розчиненою речовиною води та постійний приплив свіжого розчинника.

Породами, що карстуються, є кам'яна сіль, гіпс, ангідрит, крейда, вапняк, доломітові породи, різновиди мармуру, магноліт, карбонатит. Провідну роль у цьому списку відіграють карбонатні породи – як внаслідок їх широкого поширення (близько 15% площі суші), так і за рахунок контрастності складів між ними та пухкими відкладеннями, що спричиняє побічні взаємодії, що ведуть до подальшої карстифікації.

Розрізняють відкритий або голий карст, коли розчинні породи виходять на денну поверхню, і закритий, коли вони залягають глибоко під землею і з поверхні перекриті товщами нерозчинних порід.

Форми рельєфу, утворені внаслідок карстового процесу, поділяються на поверхневі та підземні.

До поверхневих карстових форм відносяться карри, понори, карстові вирви, улоговини.

Підземні карстові форми представлені каналами печерами. Серед підземних карстових форм можна виділити карстові колодязі та шахти, прірви та печери.



Рис. 1.3 Карстова печера у Словенії [40]

Отримані при поєднанні морфолого-генетичної та літологічної класифікацій типи карсту групуються у два класи рівнинного та гірського карсту (з підкласами низькогірного, середньогірного та високогірного).

М.М. Світінг виділяє чотири основні типи карсту:

- справжній карст (холокарст);
- флювіокарст;
- гляціально-нивальний карст, включаючи карст області вічної мерзлоти;
- аридний і семіаридний карст.

Зразки подібної загальногеографічної класифікації давалися раніше, проте видається, що виділені Світінг загальногеографічні типи карсту занадто широкі, кожен з них включає по кілька типів більш дробової класифікації Гвоздецького, що враховує не тільки загальну фізико-географічну обстановку розвитку карсту, але також і характер і товщину покриву над гірськими породами, що карстуються (виділення одного типу флювіокарста цього не дає) і дуже важливі літологічні особливості.

Гвоздецьким були виділені такі морфолого-генетичні типи карсту:

- 1) похований або викопний карст;
- 2) броньований карст;
- 3) покритий карст;
- 4) задернований карст;
- 5) напівзадернований і частково задернований карст;
- 6) голий карст;
- 7) остановий тропічний карст;
- 8) карст, що розвивається в умовах вічної мерзлоти;
- 9) морський карст.

Основні літологічні типи, з якими поєднуються морфолого-генетичні, такі:

- 1) вапняковий карст;
- 2) доломітовий карст;
- 3) карст у мармурах;
- 4) крейдяний карст, у тому числі в крейдяних мергелях;
- 5) гіпсовоангідритовий карст;
- 6) соляний карст.

Отримані шляхом поєднання обох класифікацій типи карсту іменуються наступним чином: голий вапняковий карст, покритий гіпсово-ангідритовий карст, похований крейдяний карст, причому такі типи можуть бути віднесені до рівнинного або гірського класу.

Карстовий процес не є безперервним. Вікові, сезонні, навіть добові зміни режиму температур, опадів та вологості повітря впливають на його інтенсивність. Підняття та опускання викликають зміни періодів активізації та згасання закарстування. При русі вод від області харчування до базису карстування відбувається осадження солей, що переносяться. Про це свідчать вторинна мінералізація порожнин у гірських породах, кольматаж та заповнення макро- та мікротріщин, натічні утворення великої потужності у підземних порожнинах. Крім нерівномірності карстового процесу у часі дуже чітко проявляється його нерівномірність у межах геологічного простору, зумовлена неоднорідністю речовинного складу, структур та текстур гірських порід, а також тектонічною тріщинуватістю.

Серед факторів, що визначають процес карстоутворення, Н.А. Гвоздецький виділяє такі:

- хімічний склад гірських порід;
- структуру;
- тріщинуватість;
- покривні утворення і рельєф;
- силу тяжіння;
- підземні води;
- тектонічні структури;

- потужність порід, що карстуються.

Руйнування породи в порівнянні з розчиненням має особливо велике значення при утворенні карстових форм, а також у тому випадку, коли гірська порода складається з неоднаково розчинних мінералів.

Карстовий рельєф зазвичай формується в областях, складених водорозчинними породами. Найчастіше ними є вапняки, доломіти, гіпси, ангідрити, мармури, соленосні глини та сіль. Розчинення відбувається з великою швидкістю, через що цю групу навіть називають породами, що карстуються. Але до розчинення схильні і сланці, пісковики, граніти, кварцити, базальти та ін. Швидкість розчинення у них в десятки тисяч разів менше, ніж у порід, що карстуються.

Карстоутворення відбувається тому, що є не тільки гірські породи і, що піддаються розчиненню, а й проточні води та тріщини в гірських породах. Людина бачить пізні стадії утворення карсту, оскільки спостереження за міграцією води за найтоншими тріщинами неможливі. Механізми утворення карстового рельєфу перших стадіях, швидше за все, пов'язані з проникністю гірської породи.

Водою розчиняються не тільки карбонатні та соленосні, а й силікатні породи, в яких цей процес протікає у тисячі разів повільніше. Розчиняються пісковики, граніти, сланці та інші кристалічні породи. Річкова вода, що протікає такими породами у вологих тропіках, містить багато розчинного кремнезему. Форми рельєфу, пов'язані із силікатним карстом, різноманітні. На в Південній Америці у кварцитах спостерігаються провали, колодязі, шахти, вирви. На плато Гуайкуїніма у кварцитах виявлено навіть систему печер довжиною близько 2 км з горизонтальними ходами та глибокими колодязями.

Поверхневі карстові форми.

Карри - дрібні карстові форми. Утворюються під впливом дощових та талих снігових вод на оголених поверхневих розчинних породах. Мають вигляд різноманітних заглиблень - лунок, канавок, щілин, дірок глибиною декілька сантиметрів та більше.

Вирви - поширені карстові форми. Зустрічаються на ділянках з різними осадовими породами, що карстуються. Утворюються в процесі розчинення, поступового поглиблення та розширення тріщин або верхівки, а також при обрушенні покрівлі над підземними карстовими порожнинами — печерами та каналами. Форма карстових вирв різноманітна: частіше зустрічаються округлі, рідше овальні або неправильної форми.

Карстозерозійні яри утворюються у разі лінійного розташування карстових вирв вздовж розривних тектонічних тріщин у процесі розчинення і розмиву порід, що карстуються..

Карстові улоговини та поля найбільші за розмірами поверхневі карстові форми у вигляді великих довгастих замкнутих знижень. Дно їх зазвичай рівне, заповнене відкладами, струмками та річками, а також червоноземом, що залишився у вигляді нерозчинного осаду після вилуговування вапняків. Над рівним дном полів іноді височіють вапнякові пагорби або карстові решітки.

Карстові озера виникають у результаті заповнення водою карстового рельєфу. Карстові озера поверхневого живлення виникли внаслідок закупорювання на дні карстових воронок, карстових долин та карстозерозійних ярів. Озера підземного живлення наповнюються карстовими джерелами на дні і, як правило, мають поверхневий стік, що дає початок постійним струмкам та річкам.

Карстові ніші і гроти - різноманітні за формою і розмірами в стрімких оголених порід, що карстуються. Належать до класу малих карстових форм і по суті є перехідними між поверхневими та підземними формами карста.

Печери - порожнини в масивах, доступні для людини, що мають не освітлену денним світлом ділянки з термодинамічними умовами, що відрізняються від метеорологічних умов на поверхні, які мають довжину (глибину), що набагато перевищує ширину і висоту.

Криниці - вертикальні канали більше 1 м. і глибиною до 20 м., доступні для людини, без розширень та відгалужень.

Шахти - вертикальні, доступні для людини, складні по морфології карстові порожнини глибиною 20 м. і більше. Утворюються в зоні вертикальної циркуляції карстових вод при подальшому поглибленні та розширенні карстових колодязів шляхом вилуговування.

1.2. Негативний вплив на екосистему

Досліджувана територія розташована в межах геоструктурних регіонів – Східно-Європейської платформи та Передкарпатського регіону.

Верхньокрейдові відклади поширені повсюдно, залягають на глибині від 40 до 200 м. У східній частині ці відклади залягають під четвертинними утвореннями, у західному напрямку їхня покрівля занурюється на глибину більше 200 м. Розкрита потужність крейдових відкладів 60-144 м. Це кварцово-вапняковисті пісковики з глауконітом, піщанисті мергелі, рідше глини й глинисті вапняки. Породи в межах району практично безводні [19].



Рис. 1.4 Карстовий відклад [41]

На крейдових відкладах залягають баденські породи, представлені в нижній частині глинистими пісками та пісковиками потужністю від 0 до 32 м (баранівський горизонт). Міоценові відклади на платформній окраїні залягають на розмитій поверхні крейдових утворень. Крейда представлена тут теригеннокарбонатними відкладами, найчастіше мергелями, пісковиками, детритовими та глинистими вапняками. Розріз міоцену складається баденськими й сарматськими осадами. Нижній баденій (підгіпсова товща) представлений рядом горизонтів, у складі яких переважають вапняно-глинисто-піщанисті відклади поблизу межі з прогином (потужність 70-90) м і більше, змінюючись у глибину платформи вапняково біогермними та піщаними фаціями (потужність 10-30 м). У досліджуваному районі в складі нижньобаденської товщі переважають літотамнієві вапняки [19]. Комплекс фацій водоростевих (літотамнієвих) осадів, так званих “нараєвських верств”, має широке розповсюдження серед відкладів опільської світи. У складі цього комплексу, окрім характерних фацій літотамнієвих вапняків, розвинуті фації органогенно уламкових і біогермних вапняків. Потужність комплексу коливається від 0,5 до 11 м, зрідка сягає 24-34 м.

Горизонт гіпсангідритів, разом із залягаючими в його покрівлі пелітоморфними та кристалічними вапняками, утворює тираську світу, яка є основним середовищем розвитку карстуданої території. Як зазначено в [19], гіпсангідритовий горизонт, потужністю від декількох до 35-50 м, представлений гіпсами, а з наближенням до прогину вміст ангідритів у його складі збільшується, гіпсоангідритова товща стає більш однорідною в розрізі. Карбонатні та глинисті прошарки малочисельні й малопотужні.

Горизонт пелітоморфних і кристалічних вапняків потужністю від декількох десятків сантиметрів до 25 і більше метрів, зазвичай залягає в покрівлі гіпсоангідритів [19]. Горизонт переважно пелітоморфних вапняків потужністю від 0,2 до 5-10 м, що названий ратинським, має седиментаційне хемогенне походження й розвинений майже всюди на площі поширення гіпсоангідритової товщі. У глибині платформної окраїни північно-східний

контур горизонту повсюдно виходить за контур гіпсів і в згладженому вигляді повторює його. Інший різновид утворюють епігенетичні вапняки, утворені в результаті заміщення (метасоматичного або гідрогенного) гіпсоангідритів у ході сульфатредукції, що мають мінливу потужність (до 25 м). Вони переважають у районах сірчаних родовищ, місцями повністю заміщають гіпсоангідрити і можуть бути рудними та безрудними [19].

Характер контакту надгіпсових вапняків з гіпсоангідритами досить мінливий через генетичну відмінність перших і через різний ступінь їхнього гіпергенного перетворення: від поступових переходів до чіткого розділу. Відклади тираської світи узгоджено перекриваються карбонатно-глинистими осадами косівської світи, що також відносяться до верхнього баденію. Поблизу границі з прогином вони представлені переважно глинистими відкладами, з пісковиками та карбонатними прошарками в нижній частині. [19].

Підсумовуючи викладений вище геологічний опис, можна зробити такий висновок. Територія досліджень має складну геологічну будову. Це, в першу чергу наявність великої кількості тектонічних порушень, що значно сприяє карстоутворенню, враховуючи їхню дренажну дію, а також підвищену тріщинуватість порід у прилеглих до розломів ділянках. Іншою специфічною особливістю є складність розділення дністровського (гіпсангідритового) і ратинського (надгіпсового) горизонтів тираської світи. Це значно ускладнює можливість просторового прогнозування карсту в регіональному масштабі, оскільки при прогнозуванні необхідні детальні дані про геологічну будову території, які можуть бути отримані або з карт масштабів 1:25 000, 1:50 000 і крупніших, до яких є обмежений доступ, або за даними буріння.

Стебницьке ДГХП “Полімінерал”, починаючи з 2004 року, було виконавцем робіт з реалізації вказаного проекту за бюджетною програмою “Реструктуризація та ліквідація об’єктів підприємств гірничої хімії і здійснення обов’язкових природоохоронних робіт у складних і небезпечних підземних умовах” згідно вимог Законів України про охорону навколишнього природного

середовища та охорону надр і з метою забезпечення екологічної рівноваги в регіоні, а саме:

- тампонажні та закладувальні роботи в зонах карстоутворення;
- постійне відкачування аварійних водопритоків із шахти на поверхню;
- підтримання земної поверхні від просідань та провалів в III зоні округу санітарної охорони курорту Трускавець ;
- забезпечення умов стійкості дамби хвостосховища.

На даний час “Комплексний проєкт консервації рудника № 2 Стебницького ГХП “Полімінерал” і рекультивації порушених земель” через відсутність належного фінансування реалізується не в повному обсязі, через що основні об’єкти з приготування і перекачки розсолів з хвостосховища на рудник № 2 введені в експлуатацію зі значним відставанням, а приготування і подача розсолів в гірничі виробки розпочато лише в листопаді 2009 р. (45 тис. м³), в 2010 р. через відсутність фінансування закачано – 48 тис. м³., в 2011 р. – 166,6 тис.м³, в 2012 р. – 296 тис.м³. У 2013 році приготування і перекачка розсолів не здійснюється, оскільки відсутнє фінансування. Припинення перекачування розсолів може призвести до інтенсифікації фільтраційних процесів в дамбі і вимагає якнайшвидшої відкачки розсолів у рудник №2 Стебницького ГХП “Полімінерал”. Єдиним способом уникнення скиду розсолів з хвостосховища в мережу р. Дністер є їх закачування у вироблений простір рудника №2 Стебницького ГХП “Полімінерал”.

РОЗДІЛ 2. ЕКОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНУ РОЗТАШУВАННЯ

Карпатський регіон на Екологічній карті Європи, опублікованій у м. Відень (Австрія) за редакцією Петера Йордана, є єдиною зеленою (екологічно чистою) плямою, де ще збереглися природні екосистеми, де лісами регенерується чисте повітря, де беруть початок головні річки басейнів Чорного і Балтійського морів, де зберігаються умови для рекреації і туризму, де можна зберегти генетичний фонд населення Європи.

Нинішній кризовий екологічний стан в Україні сформований протягом багатьох років через зневажання об'єктивних законів розвитку та відтворення природно-ресурсного комплексу. Львівська область серед інших регіонів України ще не зазнала критичних втручань з боку людини, тут ще збереглися можливості для розвитку рекреаційної індустрії, туризму, відпочинку та оздоровлення українського народу.

Прикарпаття – унікальний в природному відношенні регіон, де формується 8,8% річкового стоку України, зосереджено 7% загальнодержавних запасів деревини, є 300 джерел лікувальних мінеральних вод, розвідано 314 родовищ 25 видів корисних копалин, серед яких особливе значення мають родовища нафти і газу та солі.

Львівська область розташована в західній частині України. Область займає південно-західну окраїну Східно – Європейської рівнини і західну частину північного макросхилу Українських Карпат. Львівщина на заході межує з Республікою Польща, на півночі – з Волинською областю, на північному сході – з Рівненською, на сході - з Тернопільською, на південному сході - з Івано-Франківською, на півдні – з Закарпатською областями України. Територія Львівської області – 21,8 тис. км² (3,6 % території України), поділена на 7 районів, кожен з яких поділений на територіальні громади [66].

За біологічним розмаїттям область є однією із найбагатших в Україні. Флора налічує 1500 видів судинних рослин (30% рослин України), тваринний світ представлений 435 видами. Ландшафти передгірської зони і Карпатських

гір створюють унікальні можливості для оздоровлення. Рекреаційна місткість Карпат 8 млн. чоловік на рік, майже така ж, як в Альпах (10 млн. чол.). Водночас в області функціонує понад 500 промислових підприємств, 400 агроформувань, 25 лісокористувачів. Під великими електро-, газо-, нафтомагістралями зайнято 4% території Львівської області. Загальна розораність території – 29,3%, а в рівнинній частині – до 68%. Все це призвело до серйозних антропогенних трансформацій природних ландшафтів.

Найбільші техногенні зміни відбулись в районах функціонування хімічної, нафтогазовидобувної, гірничовидобувної промисловості, а також на територіях полігонів промислових і побутових відходів, військових об'єктів, зон меліорації, сільського і лісового господарств. На цих територіях активізуються екзогенні геодинамічні процеси (зсуви, суфозія, провалля, карст, ерозія ґрунтів, руйнування берегів рік тощо), відбувається засолення ґрунтів, їх забруднення важкими металами, нафтопродуктами, радіонуклідами, підвищується мінералізація та забруднення поверхневих і підземних вод, змінюється стан атмосферного повітря, деградує рослинний покрив та збіднюється тваринний світ, знижується тривалість життя та постійно зростає рівень захворюваності населення.

Особливо це помітно на стані здоров'я населення Дрогобицької ОТГ Львівської області. За даними вчених Українського наукового гігієнічного центру Міністерства охорони здоров'я України, відносний ризик смерті серед населення Львівської області за останні 3 роки зріс майже у 3,5 рази, при цьому у чоловіків він зростає швидше, ніж у жінок (Зокрема, виною став Covid 2020 та смертність захисників в період повномасштабного вторгнення 2022 року). Зростає також частота репродуктивних втрат, а показники смертності вже декілька років перевищують показники народжуваності.

На балансі Стебницького гірничо-хімічного підприємства "Полімінерал" знаходиться дві соляні копальні – рудники № 1 та № 2. В останні роки головна увага була прикута до рудника № 2, з якого у 1978–2001 рр. постійно відкачували ропу, а з 2001 р. копальня затоплюється у відповідності до

розробленого проекту та рішення Урядової комісії та перебуває у стані "микрої консервації". Водопритік на рівні 1400 м³/добу у рудник № 2 супроводжується низкою небезпечних екзогенних процесів, серед яких головним є розвиток соляного карсту, оскільки одна літра прісної води здатна розчинити 425 г калійних солей. Оскільки в межах гірничого відводу рудника № 2 немає жирових будівель, то наслідки невідворотніх карстопровальних явищ тут є мінімімальні.

Отже, екологічна криза, як бачимо, має різний вплив на здоров'я населення. Але первинним є здоров'я довкілля, природна можливість саморегуляції розвитку екосистем [68].

РОЗДІЛ 3. ХАРАКТЕРИСТИКА ДІЯЛЬНОСТІ СТЕБНИЦЬКОГО ГІРНИХОХІМІЧНОГО КОМБІНАТУ ТА ЙОГО ВПЛИВ НА ДОВКІЛЛЯ

3.1. Характеристика підприємства

Стебницьке родовище калійних руд площею 30 км² лежить у північно-східній частині Передкарпатського прогину в басейні р. Тисмениця в західній частині м. Стебник. Поклади калійних солей розміщені пластами та у соляно-глинистих породах [7]. Система розробки родовища була камерно-підповерхова, без закладки відпрацьованих порожнин. За роки виробітку утворилися порожнини об'ємом близько 33 млн м³ і завдовжки десятки кілометрів. У результаті цього під територією Стебника утворилися великі прірви – луговні. Таких луговень налічується 12, три з яких засипані. Проникнення в шахти води призводить до розмивання перегородок і до просідання земної поверхні й утворення провалів [16; 21]. На сьогодні запаси руди, придатні для видобутку камерним способом, повністю вичерпані [7].

Перший промисловий видобуток калійної солі почався у 1911 р. в АТ “Калі”. Він випускав лише сиромелений каїніт і кухонну сіль [16]. У 1946 р. було сформоване Стебницьке державне гірничо-хімічне підприємство (ДГХП) “Полімінерал” [6].

У 1966–1967 рр. побудовано хімічну збагачувальну фабрику, яка випускала калійно-магнієве мінеральне добриво (калімагнезію) з вмістом K₂O до 17–18 % (без збагачення вміст K₂O становив близько 10 %). Найінтенсивніше родовище експлуатувалося у 80-х роках ХХ ст. – понад 2,5 млн т на рік [18]. У 1988 р. хімічну збагачувальну фабрику було закрито, а у 1993 р. припинено тампонажні роботи у карстових порожнинах [2, 15]. На сьогодні перероблення руди на ДГХП не здійснюється. Це пов'язано із недосконалістю, складністю й енерговитратністю способу хлоридного вилуговування.

Початок видобутку солі на території поблизу м. Стебник припадає на 12 століття. В цей час видобуток проводився відкритим способом. Починаючи з 17 – го століття видобуток солі здійснюється підземним способом. В 1848 році

розпочалась прохідка двох шахтних стовбурів «Кюбек» та «Ляриш», які по завершенню цих робіт сягнули глибини 221 м., та 151 м відповідно. Видобуток солі за часів Радянського Союзу та незалежності України проводило Стебницьке державне гірничо-хімічне підприємство (ДГХП) «Полімінерал», в склад якого входили рудник №1 та №2. До 1988 року тут щороку видобували понад три мільйони тонн калійної руди. За роки роботи підприємства на декількох підземних горизонтах від 90 до 370 метрів утворилися порожнини об'ємом понад 30 млн. кубічних метрів і завдовжки десятки кілометрів. Після Бухарестського землетрусу в Румунії у 1978 році відбулася зміна гідрологічного режиму рудника №2. Його почала заповняти прісна вода, яка є загрозою для соляних родовищ. У 1989 році через неефективність процесу збагачення підприємство було зупинене на реконструкцію, а фактично виробництво почало згортатися.



Рис. 3.1 Стебницьке ДГХП «Полімінерал» станом на 1999 р. [20]

Внаслідок технічних і екологічних проблем рудника № 2 активізувався процес просідання території західного флангу західного поля згаданого рудника. В 2000 р. там на площі 4,5 га утворилися 4 карстові лійки, з максимальним просіданням — 731мм. Уся карстова зона вкрита концентричними тріщинами розмірами від кількох сантиметрів до 0,5-0,7м і глибиною до 3-4 м.

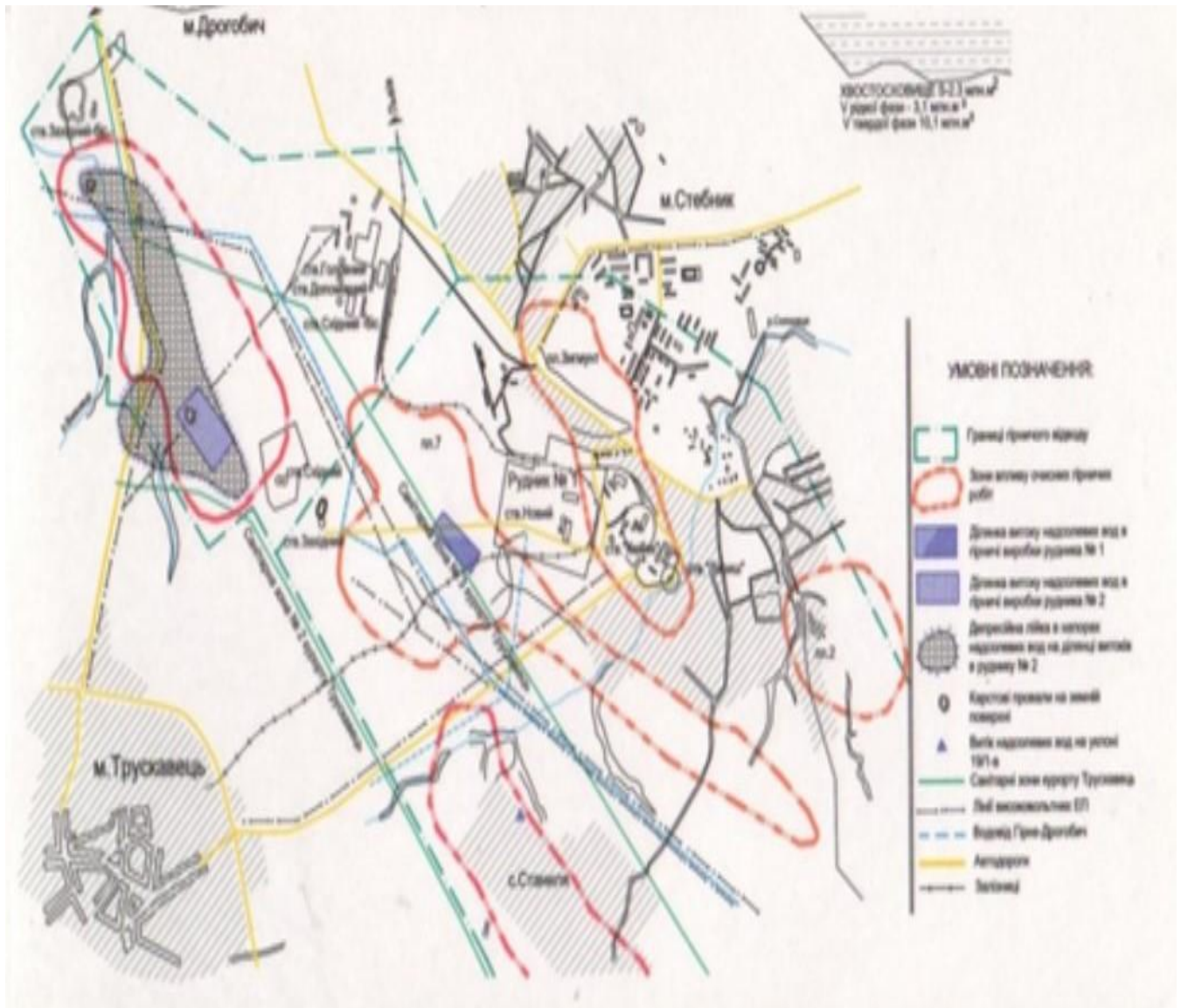


Рис. 3.2 Схематичний план техногенно – екологічної ситуації на Стебницькому ДГХП «Полімінерал» [20]

Ці проблеми з роками загострились під впливом двох факторів:

- наявністю великого об'єму незакладених порожнин відпрацьованих камер (міжкамерні цілики за своїми стійкісними характеристиками розраховані на тимчасову роботу без закладки порожнин камер і за межами розрахункового часу існування вони поступово втрачають несучу здатність та не можуть забезпечувати стійкість гірничого масиву та донної поверхні);
- попадання ґрунтових вод в порожнини відпрацьованих камер з подальшим руйнуванням ціликів та просіданням земної поверхні

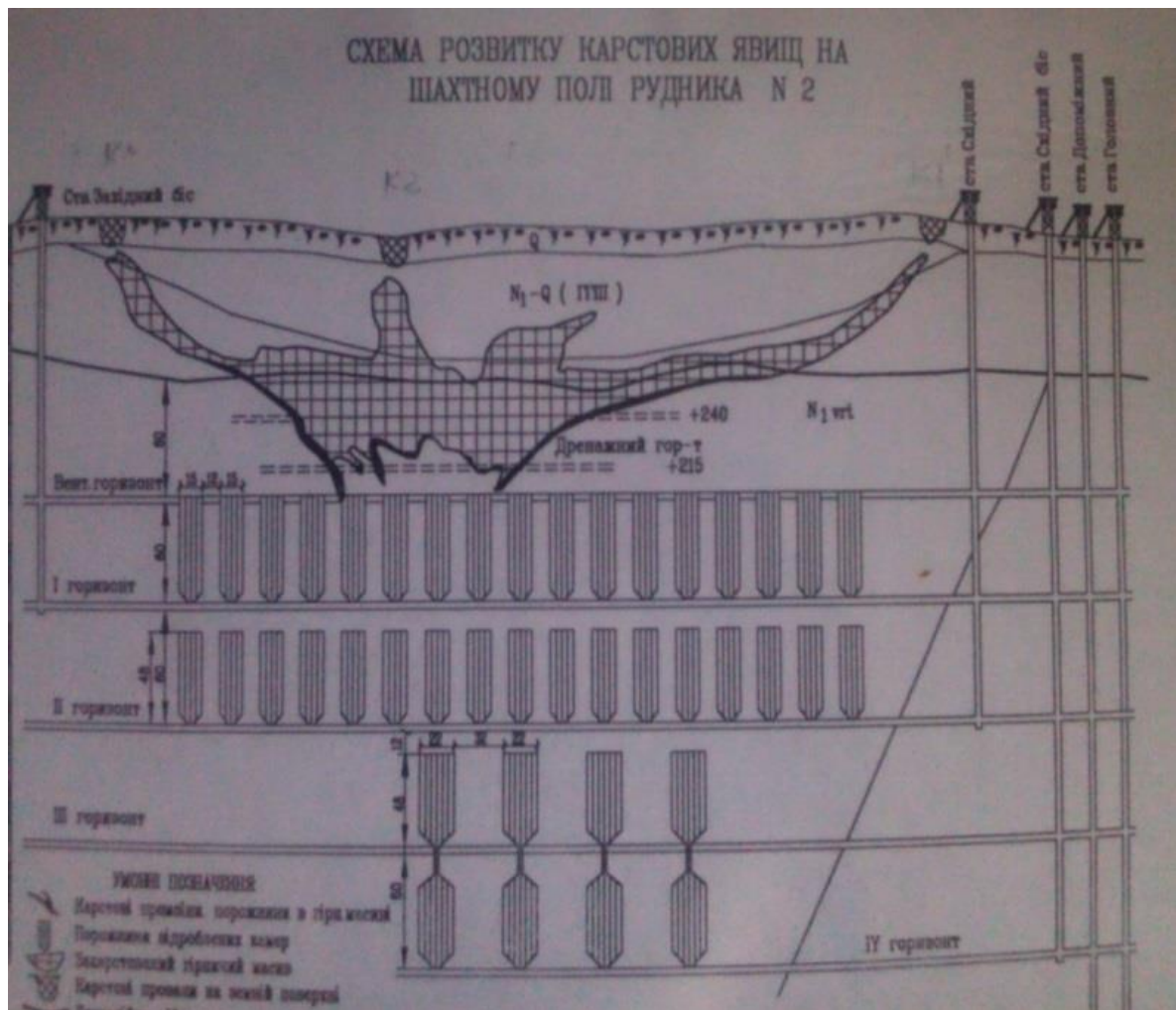


Рис. 3.3 Схема утворення провалів на території рудника №2 Стебницького ГХП “Полімінерал” [20]

30 вересня 2017 р. на західному фланзі західного шахтного поля рудника № 2 утворилось карстове провалля діаметром 300 м та завглибшки 30 – 50 метрів. У результаті утворення провалля пошкоджено дві опори лінії електропередач 35 кВ. Відстань від карстового провалля до дороги становить 300 м та до найближчих будівель 800 - 900 м.



Рис. 3.4 Провалля, яке утворилося 30 вересня 2017 р. [30]

2 листопада 2017 р. на цій ж території виявлено карстове провалля розміром 3 на 2 м та глибиною 3 м, у яке впадає річка Вишниця. Це провалля знаходиться на відстані 500 м від найближчих житлових будинків с. Модричі Дрогобицького району, 300 м від автодороги Дрогобич – Трускавець та в 50 м від карстового провалля проходить високовольтна лінія електропередач.



Рис. 3.5 Провалля, яке утворилося 2 листопада 2017 р [30]

Збільшення інтенсивності просідання території західного шахтного поля рудника №2 Стебницького ГХП “Полімінерал” неминуче призведе до техногенної катастрофи з непередбачуваними наслідками. Своєчасне реагування на виникнення подібних техногенних руйнувань земної поверхні вимагає перманентного ведення моніторингу, а саме, визначення деформацій та осідань земної поверхні в реальному часі. Для здійснення таких моніторингових досліджень були використані високоточні цифрові інклінометри.

Для проведення моніторингу створена система моніторингу території в межах гірничого відводу шахтних полів рудника №2 Стебницького калійного родовища, яка складається з двох нахиломірних станцій Nivel 210. Інклінометри були встановлені в підвальних приміщеннях школи в селі Модричі, та готелю «Візит», який розташований на околиці міста Трускавець та у місті Стебник .

Автоматизований збір даних з інклінометрів виконується щосекунди і записуються у відповідні файли.

За період з 12.05.2016 по 15.11.2017 фахівцями центру прийому і обробки спеціальної інформації та контролю навігаційного поля був проведений моніторинг вертикальних зміщень території ГХП «Полімінерал» з використанням інтерферометричних методів обробки супутникових радарних вимірювань.

3.2. Вплив на довкілля

Результати моніторингу вертикальних зміщень території ГХП «Полімінерал» з використанням інтерферометричних методів обробки супутникових радарних вимірювань підтверджують гіпотезу поділу досліджуваної території на блоки за результатами нахиломірних спостережень, а величини осідань території шахтного поля в районі лінії поділу практично збігаються в обох методах спостережень (40 – 60 мм/рік – радарна інтерферометрія та 50 – 60 мм/рік – нахиломірні виміри).

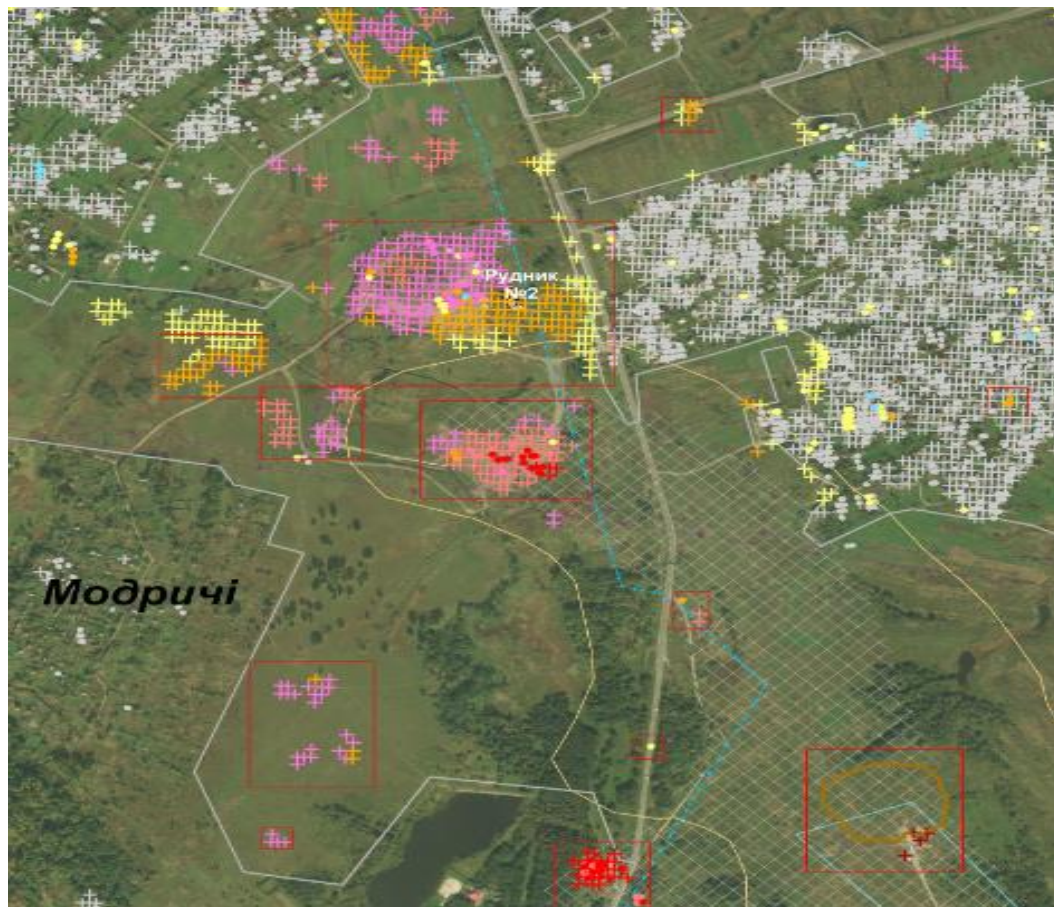


Рис. 3.6 Ізолінії швидкості вертикальних зміщень та імовірна лінія поділу території на блоки та величини осідання території [30]

На рисунку зображено досліджувану територію рудника №2 Стебницького ГХП “Полімінерал” з нанесеними місцями концентрованих деформацій земної поверхні одержаних з аналізу результатів інтерферометричної обробки радарних вимірювань (червоні квадрати) та місцями підземних обвалів, які зафіксовані нахиломірними станціями (жовті кола). Цілий ряд підземних обвалів (№ 1, 4, 6, 7, 8), які зафіксовані нахиломірними станціями розташовані у зонах деформацій земної поверхні одержаних за даними обробки супутникових радарних вимірювань. Причому, підземні обвали з більшим балом розташовані в районах найбільш небезпечних зон №16, №37, №38 визначених за даними супутникового радарного моніторингу.



Рис. 3.7 Територія рудника №2 Стебницького ГХП “Полімінерал” з вказаними зонами де відбуваються підземні обвали [30]

Крім цього на території рудника було проведено повторні ГНСС виміри створеної мережі наземних пунктів. За результатами вимірів встановлено вертикальні зміщення та деформації земної поверхні досліджуваної території.



Рис. 3.8 3D – модель вертикальних деформацій території рудника №2 Стебницького ГХП “Полімінерал” за даними ГНСС вимірів [30]

За період з 11.06.2018 р. по 08.10.2018 на території рудника №2 зареєстровано 30 поштовхів. Починаючи з 27.06 по 09.10. 2018 суттєво посилилась активність і потужність поштовхів. Необхідно зазначити, що 27.09.2018 о 19:02:31, 30. 09. 2018 о 13:58:33, та 04. 10. 2018 о 14:38:57, зафіксовані аномально потужні поштовхи, амплітуда коливань яких у 10 -20 – ть разів перевищувала попередні поштовхи, а їх епіцентри розташовані в районі готелю «Візит».

За результатами ГНСС вимірів визначені горизонтальні та вертикальні зміщення земної поверхні території рудника №2. На території рудника №2 Стебницького ГХП “Полімінерал” виділено чотири зони максимального просідання (до 5-10 см за рік), які зосереджені і в районі території обвалу (зона №1), частина шосейної дороги Трускавець – Дрогобич на відстані 700 м на захід від готелю Візит (зона №2), біля с. Модричі (зона №3) та на ділянці рудника на відстані 400 м на захід від готелю Візит (зона №4). Виділені зони корелюють зі скупченням епіцентрів підземних обвалів. Аномальні горизонтальні зміщення зафіксовані в зонах №1 і №3 Стебницького ГХП “Полімінерал”.

Багаторічний видобуток і переробка калійної руди на Стебницькому державному хімічному підприємстві “Полімінерал” створили ряд екологічних проблем загальнодержавного значення, що є одним з найбільш загрозливих в регіоні, основними з яких є:

- ліквідація хвостосховища (утилізація рідкої і твердої фази відходів колишньої збагачувальної фабрики) з рекультивацією земель;
- ліквідація більш як 24 мільйонів кубічних метрів пустот (підземних гірничих виробок), які утворені при відробці запасів руди;
- ліквідація солевідвалів і рекультивація порушених земель, на яких вони розміщені;
- просідання земної поверхні і утворення карстів на гірничому відводі підприємства (в зону просадки потрапляє частина залізниці Львів-Трускавець, автодорога Стебник-Трускавець, автодорога Дрогобич-Трускавець).

На розвиток цього карсту сильно вплинули потік підземних вод і зміна режиму підземних вод.

Видобуток солі та розсолів відіграли важливу роль у сучасному розвитку соляного карсту. Початковий метод видобутку солі полягав у використанні природних соляних джерел, що задовольняло римську та середньовічну соляну промисловість.

З зростанням попиту на сіль у місцях соляних джерел, щоб отримати доступ до глибших, більш концентрованих місць та копалин, утворювалися більш глибокі та ширші шахти видобутку. Були розроблені свердловини з насосами тому видобуток ще глибших шарів став можливим. Цей метод неконтрольованого видобутку можна назвати диким. Цей метод спонукав посилити існуючі просідання або спричиняючи лінійні просідання, що поширюються на значні відстані від місць видобутку. Масштабне використання у такий спосіб спричинило розвитку природного соляного карсту в неприродну форму.

Сучасний видобуток може здійснюватися в глибоких, сухих штольневих шахтах на глибинах 125-170 м, або шляхом контрольованого видобутку на глибинах 150-300 м, залишаючи великі глибокі підземні камери, які залишаються затопленими і заповненими насиченим розчином солі.

3.3. Виникнення карстових проваль

Минає шостий рік після найбільшого провалу, який стався 30 вересня 2017 р. у зоні впливу рудника № 2 Стебницького ГХП «Полімінерал» після практично повного затоплення.



Рис. 3.9 Провалля в зонні впливу рудника №2 Стебницького ГХП «Полімінерал» після повного затоплення [30]

За інформацією Стебницького ГХП "Полімінерал" 30 вересня 2017 р. 00 годин 46 хвилин, на пласті № 10 Пд-Сх рудника № 2 в районі камер № 108-109-110-111-112-113 стався провал ґрунтового масиву із діаметром на поверхні 220-230 м та глибиною 45-47 м. Внаслідок провалу виведено з ладу дві опори ЛЕП 35 кВ, припинене електропостачання м. Трускавця було відновлене по резервній схемі. Найкоротша відстань від провалу до автодороги Трускавець-Львів становила 350 м та до найближчих будівель – 600-700 м.

Провал був спрогнозований на підставі експериментального та матеріально-балансового моделювання.

Зокрема було встановлено, що протягом майже восьми років з січня 2007 р. по жовтень 2014 рік, коли у камеру 110 другого горизонту надходила агресивна вода, відбулось розчинення та дезінтеграція 48 904,4 м³ калійних руд. Тобто кожен кубічний метр розсолу розчиняв від 71 до 111 кг калійних руд.

На добу дезінтегрувалось від 38 до 118 м³ калійних руд.

В об'ємному вимірі на ділянці основного водопритоку у камеру 110, від слабо недонасиченого розсолу повністю зруйновано 2,7 цілика із 5 наявних між камерами 108-109-110-111-112-113.

30 грудня 2014 р. доведено прогнозовану відсутність ціликів.

15 січня 2015 р. задокументовано відсутність п'яти ціликів між камерами 108-109-110-111-112-113.

23 березня 2015 р. на ПАТ Стебницьке ГХП "Полімінерал" відбулося засідання Львівської обласної комісії із техногенно-екологічної безпеки та надзвичайних ситуацій під головуванням О.Ф.Титаренка, рішенням якої заборонено доступ персоналу у рудник № 2 Стебницького ГХП "Полімінерал", а місце майбутнього провалу обвалу, визначене А.М. Гайдіним та В.О. Дяківим, було наказано обгородити та маркувати попереджувальними знаками.



Рис. 3.10 Табличка із загороджуваним знаком «Небезпечна зона, Проходу немає» [30]

Наслідком провалу 30 вересня 2017 року став техногенний землетрус та гідравлічний удар. Визначено точну дату та точний час землетрусу – 0 годин 46 хвилин. І хоча епіцентр землетрусу на кілька кілометрів не співпадає із місцем провалу, на його техногенну природу вказує точний час відключення електроенергії на ЛЕП-35 кВт – 0 годин 47 хвилин, зафіксований диспетчерами «Львівенерго» внаслідок руйнування двох опор. Причиною техногенного землетрусу та гідравлічного удару стало падіння від 0,5 до 0,7 млн.м³ обвальних порід сумарною масою понад 1 млн тонн у затоплений на 75 % рудник № 2 Стебницького ГХП "Полімінерал".

Протягом п'яти років після провалу на його місці відбувалося формування карстового озера, яке щороку збільшує свої розміри: морфологію, обриси,

довжину, ширину, глибину, а об'єм накопичених вод кожен рік зростає орієнтовно на 12-15 тис.м³ на рік.



Рис. 3.11 Ландшафт провалля в зоні пливу рудника №2 [30]

Визначено глибини та гідрохімічний склад озерних вод у якому станом на 28 вересня 2021 р.: рівень води піднявся на 2,5 м у порівнянні із 2020 роком, незважаючи на те, що 15 березня 2020 р., поруч, на відстані 70 м стався останній карстовий провал над камерами 102-104, контури набули ще більш ізометричних обрисів, із довжиною 125 м та шириною 82 м.

За гідрохімічним складом озерна вода є слабомінералізованою, гідрокарбонатно-хлоридно-сульфатною натрієво-магнієво-кальцієвою у всіх опробуваних водних товщах, на поверхні майже прісна, із мінералізацією біля 1,0 г/л, та слабомінералізована з мінералізацією до 1,5 г/л (за рахунок дренавання відкладів гіпсово-глинистої шапки).

Практично усі борти провалу заросли густою трав'яною та частково чагарниковою рослинністю, крім горішньої частини досить крутого північного борту.

15 березня 2020 року, вранці біля 11.00, в районі камер 102-104 на відстані 70 м у напрямку на північ від провалу, який стався 30 вересня 2017 року, утворився новий карстовий провал із діаметром біля 130-150 м та з дуже крутими, майже вертикальними бортами, які постійно обвалювались. Дане місце провалу було одним із трьох (два інші район камер 117-118 та 127-128), куди так само йшов водопритік і де прогнозувались провалоутворення. Але

через неможливість прямих спостережень, як у 2014 р., точно спрогнозувати цей провал, на відміну від провалу, який стався 30 вересня 2017 року, не вдалося.

Новий провал жодним чином не вплинув на рівень карстового озера у провалі, який стався 30 вересня 2020 року, що є свідченням відсутності гідравлічного зв'язку між провалами та встановлену природу самих провалів, пов'язану із підрізанням ціликів агресивними водами та їхнім обвалюванням із часом.



Рис. 3.12 Змінок Google Earth Pro від 2 серпня 2017 року



Рис. 3.13 Змінок Google Earth Pro від 19 жовтня 2017 року

У перші дні після обвалювання провал, який стався 15 березня 2020 року, був сухим, при тому, що поруч на віддалі 70 м було розташоване карстове озеро із об'ємом води понад 35 тис. м³ та глибиною біля 8 м, що зайвий раз свідчить про те, що домінантним джерелом надходження вод у карстовий водоносний горизонт, з якого проходить затоплення рудника № 2 Стебницького ГХП "Полімінерал", є води річки Вишниця, а інші контури живлення є мізерно малі та суттєво не впливають на загальний водний баланс.

Вже за три місяці після утворення провалу, станом на 23 червня 2020 року, почало формуватися карстове озеро, а його борти із субвертикальних, стали перетворюватись на більш стійкі, але все ще досить круті із кутами від 35 до 45 градусів, а у деяких місцях до 60 градусів.

Зсуви та опливини, особливо у періоди інтенсивних опадів, суттєво зменшили глибину провалу, яка нині становить біля 45 м від денної поверхні, а розміри провалу по периферії за результатами точних вимірювань становлять від 143 до 167 м.



Рис. 3.14 Знімок з космосу утвореного провалля [30]

У найближчі кілька років прогнозується подальше обвалювання бортів до кута природного відкосу - біля 30 градусів, подібно до того вигляду, який є нині притаманним для карстового озера у провалі, який стався 30 вересня 2017 року.

Спостереження показують, що навіть досить пологі борти провалу, який стався 15 березня 2020 року, із кутами відкосу біля 35 градусів і далі продовжують деформуватись в основному через опливини та мікроселеві потоки із невеличкими конусами виносу.

На крутих бортах провалу, який стався 15 березня 2020 року, із кутами відкосу біля 65 градусів, продовжують відбуватися зсувні процеси, які часто супроводжуються обвалювання дерев із кореневищами.

Опливини, зсувні маси, конуси виносу мікроселевих потоків та кореневища дерев активно деформують борти провалу, який стався 15 березня 2020 року, до кутів природного відкосу, замулюють новостворене карстове озеро та призводять до того, що вода у водоймі є каламутною, особливо після опадів.

Рудник № 2 Стебницького ГХП "Полімінерал" затоплений на більше ніж 99 %, у тому числі на 100 % усі гірничі виробки (крім стволів), включаючи водоперехоплюючі зумпфи дренажного горизонту та карстові канали. Рівень затоплення становить понад 250 м над рівнем моря (абсолютна відмітка старої дороги на найвищій ділянці біля 350 м над рівнем моря).



Рис. 3.15 Знімок за допомогою дрона провалля в зоні впливу рудника №2

Це дозволяє стверджувати, що рух агресивних вод над гірничими виробками рудника № 2 Стебницького ГХП “Полімінерал” припинився, і тому розширення двох існуючих карстових каналів під старою дорогою, чи утворення тут нових карстових порожнин унеможлиблюється, а утворення нових провалів можливе лише на ділянках інтенсивного динамічного навантаження. На інших ділянках, у тому числі над затопленими виробками, утворення провалів малоімовірно...

Вже сьогодні розсоли є рівноважні із соленосними відкладами і тому карст вже не може розвиватись.



**Рис. 3.16 Провалля в зоні впливу рудника №2 Стебницького ГХП
“Полімінерал”**

На прикладі інших затоплених рудників можна спрогнозувати, що провалоутворення є малоімовірні та можливе лише за механізмом поршневого витіснення на ділянках де з тієї чи іншої причини, відклади над гірничими виробками чи порожнинами є нестійкими чи є зовнішній чинник, який може викликати таку нестійкість.

До прикладу, стара дорога, яка витримувала протягом 40 років статичні та динамічні навантаження, коли відбувалось активне розчинення солевмісних порід, так і повинна витримувати такого ж рівня навантаження, після припинення розвитку карстового процесу, коли соляні мінерали стануть рівноважними із насиченими ропами. Причиною такої стійкості є 100-метрова надсольова товща гіпсово-глинистих відкладів..

В той же час, траса нової дороги на закарстованій ділянці, довжиною біля 400 м, у долині річки Вишниця, не мала жодних статичних та динамічних навантажень, але після побудови дорожнього полотна та руху транспорту по ньому, такі навантаження з'являться, при тому, що потужність надсольових

відкладів є у 2-3 рази меншою у порівнянні із гіпсово-глинистою товщею під старою дорогою та становить лише 30-50 метрів.

За найпесимістичнішим прогнозом розвитку карстологічної ситуації у зоні впливу рудника № 2 після його повного затоплення - це провал чи критичні деформації дорожнього полотна через кілька років після введення нової дороги в експлуатацію у долині річці Вишниці.

Щодо старої дороги, то так само є застереження та загрози критичних деформацій, але вони мають меншу ймовірність.

При найпесимістичніших оцінках ситуації - дуже малоімовірні провали на двох ділянках: в районі камер 117-118 та 127-128, а також між старою дорогою та провалом, який стався 15 березня 2020 року.

В той же час дати хід та приблизити оптимістичний сценарій розвитку подій в зоні впливу рудника № 2 можна лише тоді якщо виконати комплекс заходів зі стабілізації ситуації що склалася, а саме для забезпечення повної безпеки старої дороги необхідно провести роботи із закладки карстових каналів, які є у десятки разів дешевшими ніж будівництво нової дороги...

В той же час, для траси нової дороги, якщо проєктом не буде передбачено буріння свердловин, згідно вимог Державних будівельних норм до рівня на 5 м глибше кривлі солей, тобто до глибин 35-55 м, через кожні 20 м, із затампоновуванням виявлених карстових порожнин, то навіть після затоплення рудника № 2 Стебницького ГХП "Полімінерал" нова траса буде небезпечнішою, ніж стара дорога.

РОЗДІЛ 4. ЗМІНИ В ЕКОСИСТЕМАХ ПОВ'ЯЗАНІ З КАРСТОВИМ ПРОВАЛЛЯМ

4.1. Покриття рослин

У зв'язку зі зниженням вологості та зменшення концентрації солей у субстраті відбувається поступове проникнення фітоценозів. Напряму заростання має лінійний характер і чітко детермінований зміною засоленості й вологості. Піонерні стадії заростання формуються з рослин галофітних і солестійких екологічних груп, у яких немає представників автохтонної флори. Це свідчить про невідповідність субстрату в умовах природних ґрунтів цієї території.



Рис. 4.1 Ландшафт в зоні впливу Стебницького гірничохімічного комбінату, літо(фото автора)

В умовах виникнення девастрованих ландшафтів в зоні впливу Стебницького гірничохімічного комбінату корінна асоціація, поділяється на природні похідні асоціації. Вони виникли у результаті процесів самозаростання нерекультивованих територій.

Унаслідок вивчення вертикальної структури фітоценозу виявлено заселені рослини на різних експозиціях схилів. Зокрема, стадія сукцесії у систематичному аспекті є найбільшньою і налічує чотири родини – Chenopodiaceae, Fabaceae, Asteraceae, Poaceae. Для неї характерний слаборозвинений рослинний покрив, низьке видове різноманіття, мала біомаса та продуктивність. Піонерна рослинність сукцесії представлена такими галофітами: *Salicornia europaea* L., *Puccinella distans* (Jacq) Parl., *Trifolium vulgare* Nees, *Salsola iberica* Sennenet Pan. на плато вершини та північних експозиціях схилів розвивається мезогігрофіт *Populus tremula* L. та мезофіт *Betula pendula* Roth. Це пояснюється доброю зволоженістю субстрату. На цих рослинах, які проростають на поверхні засоленого мулу, спостерігають нальоти мірабіліту.

Поверхневі стадія сукцесії характеризується збільшенням видового складу трав'янистих рослин, а саме бобових, які беруть основну участь у накопиченні в ґрунті Нітрогену – *Lotus corniculatus* L., *Medicago lupulina* L., *Trifolium pratense* L., *Trifolium repens* L., *Melilotus albus* Medik., *Melilotus officinalis* Pall., *Vicia cracca* L. Домінантами стають такі родини: Fabaceae, Poaceae, Asteraceae, Juncaceae, Plantaginaceae, Equisetaceae.

Також спостерігається характерне збільшення кількості деревно-чагарникових видів, але водночас зменшується кількість трав'яних видів. Тут ефективно поширюються автохтонні види *Betula pendula* Roth., *Populus tremula* L., *Rosa canina* L., *Salix fragilis* L., *Salix caprea* L. Домінантними трав'яними видами є *Calamagrostis epigeios* Roth., *Holcus mollis* L., *Dactylis glomerata* L., *Millium effusum* L., *Sonchus arvensis* L., *Cirsium vulgare* Ten., *Artemisia vulgaris* L., *Daucus carota* L. Родини, які випадають на цій стадії – це Chenopodiaceae, Equisetaceae, Juncaceae, Caryophyllaceae.



Рис. 4.2 Ландшафтів в зоні впливу Стебницького гірничохімічного комбінату, зима (фото автора)

Формування та розподіл по території угруповань рослин визначає рівень зволоження. За гігротипами переважають мезофіти, що свідчить про відсутність водного дефіциту. Завдяки наявності великої кількості різноманітних за розміром гігротопів по всій площі хвостосховища значна частка у заростанні належить мезогігрофітам і гігрофітам. Гігрофіти представлені, в основному, такими видами: *Equisetum arvense* L., *Equisetum telmateia* Ehrh., *Juncus articulatus* L., *Juncus compressus* L., *Carex otrubae* Podr. Мезоксерофіти зосереджені переважно на крутих схилах.



Рис. 4.3 Ландшафт в зоні впливу Стебницького гірничохімічного комбінату, літо(фото автора)

У спектрі розподілу видів за структурою підземних пагонів у більшості угруповань переважають короткокореневищні та довгокореневищні види, що вказує на високий рівень зволоженості субстрату.



Рис. 4.4 Ландшафт в зоні впливу Стебницького гірничохімічного комбінату, літо(фото автора) (фото автора)

Рослинний покрив відіграє ключову роль в акумуляції сонячної енергії та її подальшій трансформації як у відповідних трофічних ланцюгах, так і у процесах формування субстрату. У міру розвитку від піонерної до насиченої стадії ґрунт стає родючішим і у біологічний кругообіг включається дедалі більше хімічних елементів.

Зі збільшенням родючості види рослин, що розвиваються на багатих живильними речовинами ґрунтах, витісняють менш вимогливі щодо цього види.

4.2. Фізико-хімічний аналіз води у зоні впливу рудника № 2 Стебницького ГХП “Полімінерал”

Для рекогносцирувальних досліджень було обрано карстове провалля в зоні впливу рудника № 2 Стебницького ГХП “Полімінерал”.

У 2022 року в рамках польових досліджень одноразово було відібрано чотири проби води з карстового провалля для комплексного аналізу геологічного провалля. Відбір проб був обумовлений геометричною конфігурацією даного провалля. Забір води здійснювався біля підніжжя з усіх сторін горизонту. Об’єм кожної проби становив одну літру рідини.

В результаті проведених досліджень фізико-хімічного складу води в карстовому проваллі у зоні впливу рудника № 2 Стебницького ГХП “Полімінерал” у Науково-дослідній лабораторії екологічної безпеки Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, отримано ряд фізико-хімічних показників, наведених у порівнянні накопичення усіх досліджуваних елементів з різних сторін горизонту. Визначалися такі показники як: HCO_3 , Cl , SO_4 , Mg , Ca , Na , K у ґрунті.

Таблиця 4.1

**Фізико – хімічні показники аналізу води в зоні рудника №2 Стебницького
ГХП “Полімінерал”, г/л**

Сторона горизонту	K⁺	Na⁺	Ca²⁺	Mg²⁺	SO₄²⁻	Cl⁻	HCO₃⁻
Західна сторона	13,5	46,78	0,27	9,68	29,56	77	187,9
Південна сторона	11,4	29,34	0,22	8,9	22,14	71,22	157,24
Східна сторона	12,2	37,48	0,24	8,41	29,5	72,18	161,49
Північна сторона	12,9	37,01	0,23	9,26	25,01	68,86	154,26

Відповідно до показників, які ми отримали в результаті дослідження, можемо стверджувати, що найбільший вміст концентрації сполук зосереджений із західного боку провалля: HCO₃ – 187,9 г/л; Cl – 77 г/л; SO₄ – 29,56 г/л; Mg – 9,68 г/л; Ca – 0,27 г/л; Na – 46,78 г/л; K – 13,5 г/л. Причиною такої концентрації може слугувати близькість автодороги Дрогобич – Трускавець, по якій відбувається з’єднання двох міст між собою та основного автошляху до бальнеологічних курортів Дрогобицького району.

Найменша концентрація речовин у воді була зафіксована з південної сторони даного провалля: HCO₃ – 157,24 г/л; Cl – 71,22 г/л; SO₄ – 22,14 г/л; Mg – 8,9 г/л; Ca – 0,22 г/л; Na – 29,34 г/л; K – 11,4 г/л. даним фактором ми можемо вважати менше насичення концентрації у ропі у звязку з межуванням лісово\ посадки та сусіднього обвалу. Також це є найвіддаленіша точка відбору проб від даного підприємства.

Східна та північна сторони показали результати які суттєво не відрізняються між собою.



Рис. 4.5 Ландшафт в зоні впливу Стебницького гірничохімічного комбінату, зима (фото автора)

З отриманих результатів можна сказати, що вода в карстовому проваллі зони впливу рудника №2 отримує насичення концентраційними речовинами завдяки неправильній експлуатації та неможливості створення рекультиваційних заходів щодо порушених територій.

4.3 Фізико хімічний аналіз субстрату

Метою даного дослідження є аналіз проб субстратів провалля зони впливу №2 Стебницького ГХП “Полімінерал” щодо вмісту фізико-хімічних елементів, які впливають на довкілля та здоров’я населення.

З метою визначення стану провалля відбувався у зимовий період 2022 року. Було відібрано по 1 пробі субстрату з усіх сторін горизонту даного

провалля. Відбір проб здійснювався згідно стандартної методики "Програми державної гідрометеорологічної служби" [67]. Відбиралися методом конверта, при середній температурі $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Глибина відбору становила 10 см. Проби були відповідним чином висушені, подрібнені та марковані.

Дослідження проводилися в Науково-дослідній лабораторії екологічної безпеки Львівського державного університету безпеки життєдіяльності.



Рис. 4.6 Ландшафт в зоні впливу Стебницького гірничохімічного комбінату, зима (фото автора)

З досліджуваних зразків субстрату даного карстового провалля, які відбиралися з усіх сторін горизонтів розрізі 10 см були отримані дані за вмістом фізико-мімічного складу.

У нашому випадку в горизонті 0-10 см найбільший вміст речовин спостерігаються з великим вмістом соляних відкладів з західної сторони та північної сторони даного провалля.

Таблиця 4.2.

**Фізико – хімічні показники аналізу субстрату в зоні рудника №2
Стебницького ГХП “Полімінерал”, г/л**

Сторона горизонту	Глибина, м	K⁺	Na⁺	Ca²⁺	Mg²⁺	SO₄²⁻	Cl⁻	HCO₃⁻
західна сторона	0,1	31	47,3	103	0,08	345	0,5	179,1
південна сторона	0,1	24	49,8	138	0,07	403	0,3	153,9
східна сторона	0,1	35	43,5	94	0,06	401	0,3	164,5
північна сторона	0,1	28	43,4	121	0,06	247	0,11	161,7
ГДК	-	50	200	140	0,1	500	0,1	-

У відповідності до ГДК для ґрунтів ми можемо спостерігати незначне перевищення вмісту Cl та HCO₃, з усіх сторін даного провалля, що свідчить про наявність солевого відкладу в субстратах на яких розташований рудник №2 Стебницького ГХП “Полімінерал”.

ВИСНОВКИ

1. Після повного затоплення рудника № 2 Стебницького ГХП “Полімінерал”, яке тривало з жовтня 1978 року до вересня 2020 р., внаслідок руху підземних вод по соляних породах, що викликало їх розчинення та обвалювання, утворився техногенно-активізований соляний карст.

2. На сьогоднішній момент не проводяться жодні дослідження проблеми утворення провалля тому, що карстовий процес, який їх активізував припинився. Причиною є мінералізація розчинів солей на рівні 360 г/л, яка є практично постійною, на даний час із варіаціями плюс чи мінус 5 г/л. Це так звана рівноважна концентрація, яка у дуже обмеженому діапазоні може змінюватись за рахунок процесів так званої метаморфізації розсолів - сукупності процесів кристалізації нових мінералів за умови пересичення та розчинення вже існуючих мінералів, відповідно без винесення та привнесення солей.

3. У межах гірничого відводу рудника № 2 Стебницького ГХП “Полімінерал” є затоплені карстові порожнини, які вже не збільшуються у розмірах з причини припинення карстового процесу, але можуть деформуватись і навіть провалитись від зовнішніх чинників, до прикладу від динамічних навантажень від руху транспорту, що підтвердилося 20-21 серпня 2022 року, коли стався невеликий провал.

5. Екологічний стан регіону досліджень загалом задовільний, а основну небезпеку становить порушення рельєфу, загроза населенню та тваринам від існуючого та ймовірних провалів.

6. Рослинний склад представлений чагарниковою, трав'яною та подекуди деревною рослинністю – переважно гігрофітами та мезофітами, а на крутих схилах – ксерофітами.

7. За результатами проведених лабораторних досліджень фізико-хімічного складу води, взятої з провалу, встановлено, що в ній переважають кальцій та калій, які потрапили внаслідок вимивання порід.

8. Фізико-хімічні властивості ґрунтів свідчать про незначне перевищення вмісту Cl та HCO_3 , що свідчить про наявність солевого відкладу в субстратах у зоні впливу рудника №2 Стебницького ГХП “Полімінерал”.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Bagriy S.M., Kuzmenko E.D. About the suitability of karst on potash and rock salt deposits byelectric methods. Lviv Polytechnic National University Institutional Repository. Geodynamics, 2011; 2(11): 134–137. (In Ukrainian).
2. Bilonizhka P., Diakiv V. Chemical and mineral composition of the enrichment wastes of the Stebnyk deposit potassium ores and its influence on the environment. Visnyk Lviv univ. Ser. Geol, 2009; (23):162–174. (In Ukrainian). [Google Scholar].
3. Blazhivsky K.I., Maksimovic I.E., Padkovska E.V. Bold sulfate salts of slurry processing potassium ores using ethanol. Visnyk of Lviv Polytechnic National University, 2009; 644: 17–20. (In Ukrainian).
4. Blazhivsky K.I., Maksimovic I.E., Svitlitska M.O. Salting sulfate salts of sulfate-chloride solution of ethanol. Visnyk of Lviv Polytechnic National University, 2011; 700: 30–33. (InUkrainian).
5. Bybliv C.R., Bunio L.V., Patsula O.I. The impact of *Salix viminalis* L. plants on the water-soluble salts content in the substrate of Stebnyk tailing. Veles, 2016; (7–1): 25–29. (In Ukrainian).
6. Dashko M. Something about past Stebnyk. Drogobych: “Dimension”, 2001. (In Ukrainian).
7. Dyakiv V.O., Pavlyshyn V.I., Bilyk N.T. Mineralogical protectors of disintegration of salt-clay rocks in the proces of wet conservation of potassium deposits workings in the Carpathian foredeep. Mineralogical Journal, 2013; 35(1): 38–49. (In Ukrainian). [Google Scholar].
8. Fabrega Enfedaque A. Centennial of the discovery of potash: 1912–2012. Iberpotash: Lun werg. Barcelona. 2012. 218 p. [Google Scholar].
9. Fabrega Enfedaque A. Cum saline grain: salt and potash in Suria 1185–1982. Ajuntament de Suria: Iberpotash. Súría. 2009: 623 p. [DOI: 10.14198/INGEO2014.61.01].
10. Grzebisz W., Szczepaniak W., Biber M., Przygocka-Cyna K. Potassium as a factor driving nitrogen use efficiency – the case for potatoes cultivated on light soil.

- Poznan University of Life Sciences, Dep. of Agricultural Chemistry and Environmental Biogeochemistry, Polande-ifc, 2015; 41: 3–33.
11. Horodniy M. Agrochemistry. Kyiv: Master Print, 2015: 36–44. (In Ukrainian).
 12. Ivanchenko L.V., Erayzer L.M. Investigating the process of Prikarpattya potash production plants' waste recycling into marketable products. Proceedings of the Odessa Polytechnic University, 2014; 2(44): 171–176. (In Ukrainian).
 13. Jaworskiy V.T., Blazhivsky K.I., Perekupko A.V., Kostiv I.U., Maksimovic I.E. Acid processing poorly soluble potash ore using organic solvents. Journal of Applied Chemistry, 2009; 82(5): 715–719. [DOI: 10.1134/S1070427209050036].
 14. Nazarenko I.I., Polchyna S.M., Nikorych V.A. Soil Science. Chernivtsi, 2003. 400 p. (In Ukrainian).
 15. Parfenyuk I. The wealth that became a problem. Life Safety. Labor Protection, 2011; 11: 58–59. (In Ukrainian).
 16. Pavluk Yu.E., Ferents N.A., Melko V.M. Technogenic danger of excavations of potash mineral fertilizers. Visnyk of Lviv State University of Life Safety, 2013; 7: 199–202. (In Ukrainian).
 17. Perekupko A.V. Selective removal of chlorides from a solid intermediate processing solutions potash tailings production Carpathians. Visnyk of Lviv Polytechnic National University, 2013; 761: 24–27. (In Ukrainian).
 18. Perekupko T.V. Intensification of the processes of combined processing of the Carpathian region polymineral potassium ores by using organic reagents and solvents. Lviv: State University "Lviv Polytechnic", 1998: 32 p. (In Ukrainian).
 19. Perekupko T.V., Perekupko A.V., Hruhola H.I. Creating a new process complete processing solution Stebnyk tailing conditioning products in sodium chloride and Bishofit. Visnyk of Lviv Polytechnic National University, 2013; 761: 28–30. (In Ukrainian)
 20. Prajapati K., Modi H. The importance of potassium in plant growth. Indian Journal of Plant Sciences, 2012; 1(02–03): 177–186. [Google Scholar].
 21. Rudko G. Environmental monitoring of the geological environment. In: Rudko G., Adamenko O. Lviv: LNU Ivan Franko, 2001. 260 p. (In Ukrainian).

22. Rudko G., Bondarenko M. The technogenic ecological safety of the salt and sulphur mining of Lviv region. Ecological collection. Ecological problems of nature management and biodiversity of Lviv region, 2001; 7: 68–74. (In Ukrainian).
23. Sabat I., Tsaytler M. The analysis of the demutation processes on the tailings of “Polym mineral” potash plant in Stebnyk in the edaphotop-phytocenosis system. *Acta Carpathica*. Rzeszow, 2014; 12: 65–71. (In Ukrainian).
24. Saschuk L.S. Features of formation of vegetation in mountain areas and development towns Boryslav and Stebnyk. *Problems of Ecology and Environmental Education*. Kryvyi Rih: Publishing House, 2006: 118–120. (In Ukrainian).
25. Slobodyan L.Z. Comparative characteristics of technogenic ecotopes’ floristic composition at Drohobych-Boryslav urban and industrial complex. *The scientific journal of the National Pedagogical University named after M. P. Dragomanova*, 2013; 20(5): 26–32. (In Ukrainian).
26. Smetana M.G. Floristic structure of plant communities of landscape technogenic systems of the Kryvyi rih northern mining and processing plant. *Scientific fundamentals of biotic preservation diversity*. Lviv: Liga-Press, 2004; 5: 173–177. (In Ukrainian).
27. Snitynskyi V., Zelisko O. Monitoring of surface and ground water of Stebnyk potassium ores deposit of Drohobych district Lviv region. *Visnyk Lviv National Agrarian University. Ser. Agronomy*, 2013; 17(1): 13–17. (In Ukrainian).
28. Snitynskyi V., Zelisko O., Chirivskyy P., Buchko A., Korinec Yu. Environmental assessment of hydrogeological parameters territory of Stebnyk deposits of potassium salts of Drohobych district Lviv region. *Visnyk Lviv National Agrarian University. Ser. Agronomy*, 2015; (19):3–7. (In Ukrainian).
29. Terek O. Growth and development of plants. In: Terek O., Patsula O. Lviv: LNU Ivan Franko, 2011. 328 p. (In Ukrainian).
30. Terry L. Global potassium reserves and potassium fertilizer use. *Global Nutrient Cycling*, 2008: 36.
31. Yavorskiy V.T. Obtaining table salt from tailings solutions of potash production In: Yavorsky V.T., Perekupko T.V., Blazhivsky K.I., Maksimovich I.E., Perekupko

- A.V. Modern problems and ways to solve them in science, transport, production and education 2011, 2011; 8: 49–51. (In Russian).
32. Yavorskiy V.T. Polythermal crystallization of salts from a solution of Kalush tailings storage. In: Blazhivsky K. I., Maksimovic I. E. (Ed.) Visnyk of Lviv Polytechnic National University, 2013; 761: 44–47. (In Ukrainian).
33. Zörb C., Senbayram M., Peiter E. Potassium in Agriculture – status and perspectives. J. Plant Physiol, 2014; 171: 656–669. [DOI: 10.1016/j.jplph.2013.08.008].
34. А. Фецюх, Л. Буньо, О. Пацула, О. Терек. Екологічні проблеми, спричинені розробкою Прикарпатського родовища полімінеральних калійних руд у м. Стебник. Biol. Stud. 2018: 12(2); 157–166 DOI: 10.30970/sbi.1202.537
35. Снітинський В., Зеліско О., Хірівський П., Бучко А., Корінець Ю. Моніторинг антропогенно порушених земель Львівського полігону твердих побутових відходів. Вісник Львівського національного аграрного університету: агрономія. 2018. № 22 (2). С. 5–8.
36. Снітинський В., Зеліско О., Хірівський П., Корінець Ю., Крєктун Б. Екологічний моніторинг гідрологічних умов Язівського сірчаного рудника Львівської області. Вісник Львівського національного аграрного університету: агрономія. 2019. № 23. С. 19–22.
37. Снітинський В., Зеліско О., Хірівський П., Мазурак О., Бучко А., Корінець Ю. Екологічна оцінка стану поверхневих вод території видобування сірки Яворівським ДГХП «Сірка» Львівської області. Вісник Львівського національного аграрного університету: агрономія. 2017. № 21. С. 3–5.
38. Снітинський В., Зеліско О., Хірівський П., Корінець Ю., Крєктун Б. Екологічна оцінка стану антропогенно-порушених земель Подорожненського сірчаного родовища Жидачівського району Львівської області. Вісник Львівського національного аграрного університету: агрономія. 2020. № 24. С. 12–16.
39. Снітинський В. В., Баб'як Н. М. Забруднення важкими металами дерново-підзолистих ґрунтів території, прилеглої до законсервованого Луцького

звалища твердих побутових відходів. Вісник Львівського державного аграрного університету: агрономія. 2003. № 7. С. 3–5.

40. Енергетична безпека держави: високоефективні технології видобування, постачання і використання природного газу / Є.І.Крижанівський, М.І.Гончарук, В.Я.Грудз, А.В.Козлов. – К.: Інтерпрес ЛТД, 2006. – 282 с.

41. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2013 році. – Київ: ДП “Агентство “Чорнобильінформ”, 2014. – 542 с.

42. Сухов В. А. Проявление экзогенных процессов на трассе нефтепровода Восточная Сибирь – Тихий океан / В. А. Сухов // Геоморфологические системы: свойства, иерархия, организованность. – М., 2010. – С. 281-287.

43. Кожевникова Н.В. Обеспечение устойчивости магистральных нефтепроводов на карстовых участках: автореф. дис. канд. техн. наук / Н. В. Кожевникова; Рос. гос. ун-т нефти и газа им. И. М. Губкина. – М., 2011. – 24 с.

44. Енергетична безпека держави: високо-ефективні технології видобування, постачання і використання природного газу / Є.І.Крижанівський, М.І.Гончарук, В.Я.Грудз, А.В.Козлов. – К.: Інтерпрес ЛТД, 2006. – 282 с.

45. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2013 році. – Київ: ДП “Агентство “Чорнобильінформ”, 2014. – 542 с.

46. Сухов В. А. Проявление экзогенных процессов на трассе нефтепровода Восточная Сибирь – Тихий океан / В. А. Сухов // Геоморфологические системы: свойства, иерархия, организованность. – М., 2010. – С. 281-287.

47. Кожевникова Н.В. Обеспечение устойчивости магистральных нефтепроводов на карстовых участках: автореф. дис. канд. техн. наук / Н. В. Кожевникова; Рос. гос. ун-т нефти и газа им. И. М. Губкина. – М., 2011. – 24 с.

48. Совершенствование оценки экологического состояния линейных частей нефтепроводов на территориях с интенсивным карстообразованием / А. Г. Поздеев [и др.] // Вестник Марийского государственного технического университета. – 2011. – № 2. – С. 84-93.

49. Кожевникова Н. В. Влияние карста на эксплуатационную надежность нефтепровода. Методы защиты / Н. В. Кожевникова // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефте-продуктов. – 2011. – № 1. – С. 72-77.
50. Ross, D. Product Pipeline Hazards over Karst Aquifers/ Environmental and Pipeline Engineering.– 2000.– P. 522-530.
51. Yolkin, V. To the Problem of the Assessment of Karst Economic Risk for Pipelines (by the Example of the Tatarstan Republic Southeast)/ Sinkholes and the Engineering and Environmental Impacts of Karst.–2008.– P. 724- 731.
52. Cooper A. The use of karst geomorphology for planning, hazard avoidance and development in Great Britain. Geomorphology/ Anthony Cooper, Andrew R Farrant, Simon J Price// Geo- morphology.– 2011.– Vol. 134 (1-2).– P.118-123.
53. Identification, prediction and mitigation of sinkhole hazards in evaporite karst areas./Francisco Gutierrez Santolalla, Anthony Cooper, Kenneth S. Johnson // Environmental Geology.– 2008. – Vol 53.– P. 1007-1022.
54. Закономерная связь между величинами вероятностей возникновения и оползневой опасности при комплексном воздействии природно-техногенных факторов. Научное открытие. Диплом № 310 / [Кузьменко Э.Д., Крыжанивский Е.И., Карпенко А.Н. и др.] // Научные открытия: Сборник кратких описаний научных открытий, научных идей, научных гипотез. – Москва: МААНОИ, 2007. – С. 64–65.
55. Прогноз розвитку зсувних процесів як фактор забезпечення надійності експлуатації трубопроводів / [Кузьменко Е.Д., Крижанівський Є.І., Карпенко О.М., Журавель О.М.] // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2005. – № 4(17). – С. 24-35.
56. Yilmaz Isik. GIS based susceptibility mapping of karst depression in gypsum: A case study from Sivas basin (Turkey) / Engineering Geology. – 2007.– №90.– P. 89–103.
57. Чепурний І.В. Довгострокове прогнозування розвитку сульфатного і карбонатного карсту в неогенових відкладах Передкарпаття (на прикладі території Львівської області) // Науковий вісник Івано-Франківського

- національного технічного університету нафти і газу. – 2009. – №3(21).– С. 34-43.
58. Кузьменко Е.Д. Закономірність розвитку приповерхневого карсту в питаннях надійності експлуатації нафто- і газопроводів /Е.Д. Кузьменко, О.П. Вдовина, І.В. Чепурний //Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2008. –№4(29).– С. 5–9.
59. Экологическая геология Украины:[Справочное пособие] / Е.Ф. Шнюков, В.М. Шестопалов, Е.А. Яковлев. – К.: Наук,думка, 1993. – 407 с.
60. Кутепов А.Д. Устойчивость закарстованных территорий / А.Д. Кутепов, В.Н. Кожевникова. – М.: Наука, 1989. – 152 с.
61. Алексенко И.И. Сера Предкарпатья / И.И. Алексенко. – М.: Недра, 1967. – 303 с.
62. Климчук А.Б. Роль спелеогенеза в формировании серных месторождений Предкарпатья / А.Б. Климчук. – Симферополь: ДИАЙПИ, 2008. – 64 с.
63. Соколов Д.С. Основные условия развития карста / Соколов Д.С. – Москва: Госгеолтехиздат, 1962. – 321 с.
64. Klimchouk A. B. Ford D. Types of karst and evolution of hydrogeologic setting. //Speleogenesis: Evolution of karst aquifers (red. Klimchouk A. B., Ford D.C., Palmer A.N., Dreybrodt W.). – Huntsville: National Speleological Society. 2000. – pp. 45-53.
65. Корнеев А. А. Условия применимости критериев Стьюдента и Манна–Уитни / А. А. Корнеев, А. Н. Кричевец // Психологический журнал. – 2011. – Том 32, № 1. – С. 97–110.
66. Генсирук С., Шевченко С., Бондар В., Шеляг-Сосонко Ю., Коваль Я., Зайцев В., Кравчук Ю. Комплексное лесохозяйственное районирование Украины и Молдавии. 1981. Наукова Думка. Під редакцією Генсирука.
67. Відбір проб ґрунту для визначення забруднення промисловими токсикантами (важкими металами) // Програма державної гідрометереологічної служби Мінекоресурсів України, 2004р.

68. О. М. Адаменко. Головні екологічні проблеми карпатського регіону України. Прикарпатський вісник НТШ. Пульс. №4(4)·2008
69. Cooper, Anthony H. "Halite karst geohazards (natural and man-made) in the United Kingdom". BGS/NERC. Retrieved 9 October 2022.

ДОДАТКИ

(Копії протоколів лабораторних аналізів проб води та субстракту)