

УДК 624.131 / 624.131.6 / 502.53

В. І. ПАВЛЮК

ДП НДІ "Галургія" м. Калуш, 77300, м. Калуш, Івано-Франківська обл., вул. Фабрична, 5а, ел. пошта notebooc@gmail.com

## ПРИРОДНІ ФАКТОРИ АКТИВІЗАЦІЇ ЕКЗОГЕННИХ ПРОЦЕСІВ НА ТЕХНОГЕННО ПОРУШЕНИХ ДІЛЯНКАХ ПОШИРЕННЯ СОЛЕНОСНИХ ВІДКЛАДІВ ПЕРЕДКАРПАТТЯ

**Мета.** Наглядно продемонструвати геологічні процеси та умови і стисло обґрунтувати вибір об'єктів моніторингу, що впливають на розвиток сольового карсту та виділити основні напрями організації їх досліджень. **Методика.** Основними методами, які використовують під час підготовки та проведення цієї роботи є: аналіз фондових ресурсів, польові методи дослідження; кількісний та якісний аналіз даних, їх систематизація, створення відповідних геоінформаційних баз даних у середовищі Excel і MapInfo, порівняння, кореляція та багатомірне об'єктивне шкалювання отриманих результатів та ін; верифікація результатів, що дало змогу перевірити отриману інформацію, провести їх остаточний аналіз. Верифікаційна, логіко-методологічна процедура встановлення істинності отриманих даних на підставі їхньої відповідності емпіричним та фактичним даним переважно була апробована на ЕОМ у середовищі "MapInfo" методом багатошарового накладання картографічної, статистичної та аналітичної інформації різнопланового фактичного матеріалу у двовимірному та тривимірному зображенні. **Результати.** Подано загальний огляд і систематизовано умови та фактори, що формують та сприяють активізації техногенно зумовленого сольового карсту; запропоновано основні складові організації системи моніторингу на ділянках активізації сольового карсту. **Наукова новизна.** На прикладі Передкарпатської соленої провінції зібрано воедино та систематизовано всі основні природні фактори, що безпосередньо впливають на розвиток карстових сольових процесів, зокрема негативних. **Практична значущість.** Зібрані воедино усі відомі та маловідомі до цього часу фактори впливу на розвиток сольового карсту допоможуть у плануванні та виконанні інженерно-геологічних вишукувань, розробленню різних природоохоронних заходів чи плануванні господарської діяльності на територіях, де потенційно можливий чи вже розвивається соляний карст. Це дасть змогу фіксувати прояви активізації небажаних геологічних чи техногенних процесів ще під час їх зародження, чи прогнозувати їх можливе виникнення на стадії проектування підприємств. А також вчасно розробляти заходи спрямовані на локалізацію небезпечних явищ та недопущення їх прогресуючого негативного розвитку.

*Ключові слова:* моніторинг; сольовий карст; Передкарпаття; геологічна будова; гідрогеологічні умови.

### Вступ

Закономірності розвитку екзогенних процесів у середовищі солених моласових утворень Передкарпатського прогину є відображенням загального геодинамічного режиму Карпатської мегаструктури, наслідком якого є сучасна геологічна будова цієї території [Ващенко... 2003]. Динамічний тиск Карпат та процес насування цієї структури на Західно-Європейську платформу сформував у товщі моласових евапоритових відкладів Бориславо-Покутської та Самбірської структурно-фаціальних зон складну, але прогнозовану регіональну об'ємну конструкцію. Практика ознайомлення з раніше проведеними роботами, пов'язаними з вивченням процесів сольового карсту в умовах Передкарпаття переконує, що за їх виконання недостатньо враховувалися особливості геологічної будови досліджуваного регіону та пов'язані з ними загальні закономірності розвитку карстових проявів, що не давало змоги належним чином прогнозувати імовірний розвиток негативних екзогенних процесів. Особливо це стосується районів Передкарпаття, де були

техногенно порушені природні умови залягання солених відкладів [Отчет... 1966, Джиноридзе Н... 1987, Blajda R... 2001].

Необхідність розроблення науково обґрунтованої методики моніторингових досліджень для техногенно порушених ділянок розвитку сольового карсту Передкарпаття пов'язана з тим, що на ділянках безпосередньої підробки земної поверхні гірничими виробками і за їхніми межами процеси карстоутворення (провалля, лійки, просадки та ін.) набрали небезпечного характеру та створюють суттєву загрозу життєдіяльності. Необхідність виділення окремих методичних рекомендацій саме для дослідження територій розвитку сольового карсту зумовлена тим, що він за своїм характером, швидкістю та умовами істотно відрізняється від інших типів карсту, хоча б за наявністю таких структурних елементів як гіпсо-глиниста шапка (ГГШ), "соляне дзеркало" з присутністю горизонту насичених розсолів на його поверхні, особливістю фізичних властивостей порід тощо. Систематичні моніторингові дослідження умов і факторів розвитку сольового карсту повинні випереджати створення майбутніх гірничо-видобувних

підприємств, супроводжувати їх під час експлуатації та продовжуватися після їх завершення. Це дасть можливість фіксувати прояви активізації небажаних геологічних чи техногенних процесів ще під час їх зародження, чи прогнозувати їх можливе виникнення на стадії проектування підприємств. А також вчасно розробляти заходи, спрямовані на локалізацію небезпечних явищ та недопущення їх прогресуючого негативного розвитку.

### **Мета роботи**

Головним завданням описаних досліджень було на основі аналізу публікацій і даних польових робіт зібрати воедино усі відомі та маловідомі до цього часу фактори впливу на розвиток соляного карсту, що допоможе у плануванні та виконанні інженерно-геологічних вишукувань, розробленні різних природоохоронних заходів чи плануванні господарської діяльності на територіях, де потенційно можливий чи вже розвивається соляний карст. Тому метою роботи є наглядна демонстрація геологічних процесів та умов, як визначальних у формуванні закономірностей виникнення і проходження процесів карстування, систематизація об'єктів моніторингу, що безпосередньо впливають на розвиток соляного карсту, та виділення основних напрямів організації їхніх досліджень.

### **Методика**

Аналіз геологічної будови ділянок проявів екзогенних явищ у межах впливу сучасних калійних копалень Передкарпаття [Отчет...1995] та ін. дав змогу систематизувати природні умови і фактори, від яких залежить розвиток карсту. Основні висновки цієї роботи отримані в результаті обробки та інтерпретації зібраних автором матеріалів з фондів Львівської ГРЕ та ДП "НДІ Галургія", наукових праць на цю тематику, а також внаслідок проведених польових спостережень під час виконання урядової програми: "Моніторинг поширення та розвитку інженерно-геологічних процесів та явищ ЕГП (екзогенних геологічних процесів) у межах території Львівської області з метою геологічного забезпечення УІАС НС (урядової інформаційно-аналітичної системи надзвичайних ситуацій) та протизсувних заходів" (2006–2012 рр). Під час виконання цих робіт виявлено закономірне лінійне поширення розвитку карсту, що відповідає простяганням структур Карпатського регіону, як наслідок напрямленої геодинамічної дії Карпатського мегапокриву на Західно-Європейську платформу. Відмічена закономірність системно простежуються по всій території Передкарпаття. Така залежність приводить до висновку про визначальний вплив геологічної будови на розвиток екзогенних явищ у регіоні в природному та техногенно порушеному стані. У межах цієї визначальної залежності далі подано загальний огляд умов та факторів, що впливають

на характер і масштаби розвитку активізації карстових процесів в умовах техногенно порушеного природного середовища. Основними методами, які використовувалися під час підготовки та проведення цієї роботи:

- збір фактичної інформації, вивчення інформаційних наукових та фондових першоджерел польові маршрутні методи дослідження, картування, опитування місцевого населення;

- кількісний та якісний аналіз даних, їхня систематизація, створення відповідних геоінформаційних баз даних у середовищі Excel і MapInfo, порівняння, кореляція та багатомірне об'єктивне шкалювання отриманих результатів та ін;

- верифікація результатів, що дало змогу перевірити отриману інформацію, провести їх остаточний аналіз. Верифікаційна, логіко-методологічна процедура встановлення істинності отриманих даних на підставі їхньої відповідності емпіричним та фактичним даним переважно апробовано на ЕОМ у середовищі "MapInfo" методом багатопланового накладання картографічної, статистичної та аналітичної інформації різнопланового фактичного матеріалу у двовимірному та тривимірному зображенні. Стаття є результатом тільки частини досліджень з цього питання. Зазначені методи досліджень стосуються всього обсягу виконаних робіт. Багатомірне шкалювання та верифікація отриманих даних, використані під час досліджень, на прикладі порівняльного накладання картографічної геостатичної та геодинамічної інформації в окремо інженерно-геологічному елементі певного порядку: геологічної будови (напластування, склад відкладів, тектоніка), зміни гідрогеологічних умов у часово-просторовому контенті, морфології поверхонь, проявів поверхневих карстових явищ та інших ЕГП тощо (в 2D-моделюванні по ділянці прориву підземних вод у шахтні виробки 2 рудника – рис. 2). У 3D-моделюванні з більшою кількістю факторів на прикладі моделювання поверхні соляного дзеркала району Стебника рис. 3 та ін.

Дослідження показали, що розвиток соляного карсту є складним багаторівневим системним процесом, де всі складові мають вагомий вплив на його результат та безпосередньо пов'язані між собою. В кожному окремому випадку активізації соляного карсту чи прогнозуванні розвитку цього процесу, необхідний комплексний сингенетичний аналіз та систематизація всіх умов і факторів, які можуть мати вплив на нього.

Загалом карст багатокomпонентне явище, що відбувається в масивах розчинних відкладів, де розчинення порід відбувається паралельно з іншими процесами гіпергенезу, в результаті яких формується специфічна кора вивітрювання. Найсуттєвішим фактором небезпечної активізації соляного карсту переважно стає антропогенна діяльність. Техногенний вплив під час ігнорування властивостей відкладів та природних закономірностей може призвести до того, що швидкість

процесів, які відбуваються у непорушеному природному стані прискорюються на багато порядків.

Техногенні фактори впливу на геологічне середовище, залежно від природних умов та чинників, визначають характер, розвиток, масштаби та результати екзогенних процесів, зокрема негативні. Техногенне навантаження на геологічне середовище в межах соленосних формацій Передкарпаття підсилює наступні природні чинники, сприятливі для активізації екзогенних процесів: 1) змінює напрями, швидкості, водообмін, п'єзометричні рівні та бази дренажів водоносних горизонтів (порушуючи їхні умови живлення, транзиту та розвантаження); 2) спричинює зростання проникнення поверхневих вод до солевмісних відкладів (поширюючи розчинні властивості підземних вод); 3) зменшує міцність масиву гірських порід, збільшує вологість, водопроникність, змінює консистенцію солевмісних порід (порушуючи фізичні умови їхнього залягання).

### Результати

Проведені роботи щодо дослідження соляного карсту Передкарпаття дали змогу виявити низку його закономірностей, а також провести певну систематизацію умов та факторів, що сприяють його розвитку. Переважно вони були виконані в межах спостережної стаціонарної ділянки "Стебник", яка досліджується в межах вищеназваної урядової моніторингової програми.

Проаналізувавши дані з 653 свердловин, побудовано серію тривимірних зображень "соляного

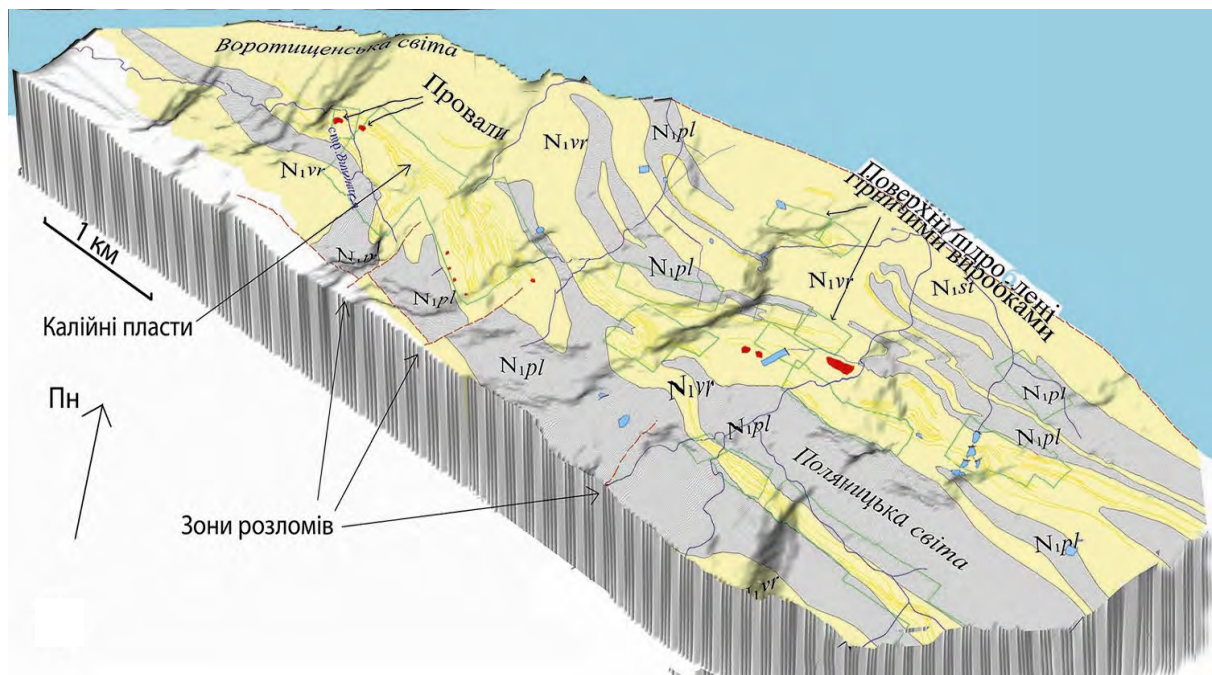
дзеркала" (рис. 1) на площі приблизно 30 км<sup>2</sup>, на яких простежується низка вперше виділених закономірностей. Далі подано стислий виклад результатів, детальніший опис викладений у попередніх публікаціях [Павлюк, 2010].

– Характерними морфологічними елементами першого порядку на всій проаналізованій площі є субмеридіональні долини та "хребти" "соляного дзеркала", які їх розділяють і простягаються перпендикулярно до структур Карпатського мегапокриву. У структурних елементах другого порядку рельєфу "соляного дзеркала", загалом, простежується геологічна будова ділянки в плані.

– Зони розломів північно-східного спрямування, які розбивають структури пластів ухрест їхнього простягання на серію блоків, утворюють на поверхні "соляного дзеркала" відповідні незначні лінійні валоподібні підняття.

– Ділянки, де на поверхню "соляного дзеркала" виходять солевмісні відклади воротищенської світи (N<sub>1</sub>vr) порівняно з сусідніми, складеними теригенними, вторинно засолоненими відкладами поляницької світи (N<sub>1</sub>pl), місцями виступають у рельєфі. Переважно це спостерігається вздовж припіднятих морфоструктур першого порядку (простягання яких перпендикулярне до простягання відкладів), де загалом по площі ступінь розчинення солей менший.

– Провали поверхні приурочені до відкладів воротищенської світи і розміщені та витягнуті вздовж геологічних структур. Усі вони, як правило, відбулися на схилах рельєфу "соляного дзеркала".



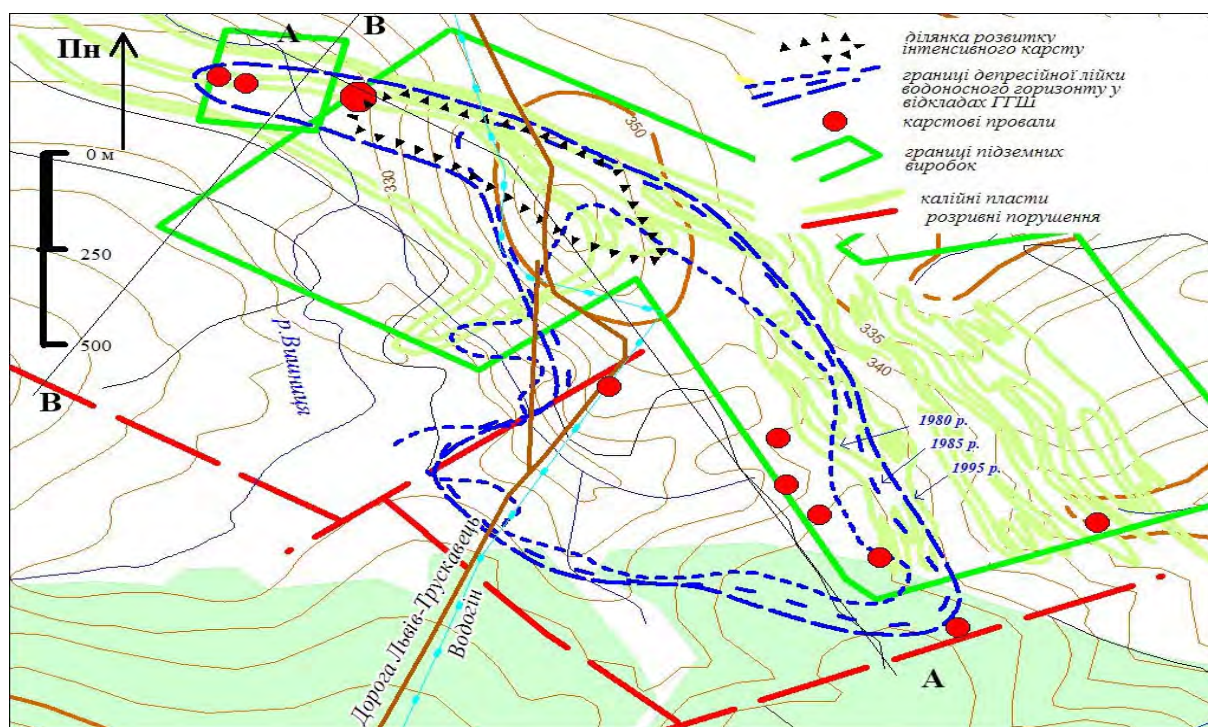
**Рис. 1.** Об'ємне зображення поверхні "соляного дзеркала" в зоні впливу Стебницької групи калійних родовищ

**Fig. 1.** Three-dimensional image of the surface "salt mirrors" in the zone of Stebnyk of potash deposits



Залежність просторово-часового розвитку активізованого карсту від геологічної будови наглядно демонструє зміна у плані форми депресійної лійки поверхні підземних вод у зоні впливу гірничих виробок 2-го Стебницького рудника калійних руд. З моменту її утворення у 1978 р. унаслідок прориву підземних вод у камеру 115 (рис. 2, 3) цілком очевидно вимальовується 100 % залежність її розвитку від геологічної будови ділянки. На початковому етапі (1980 р.) вона мала порівняно ізометричну форму із співвідношенням ширини до довжини близько 1:2. Надалі спостерігається її збільшення тільки вздовж геологічних границь, практично не розширюючись упоперек структур. Розвиток депресійної лійки в плані з часом обмежується, коли вона досягла диз'юнктивних тектонічних порушень, що зупинили її у південно-східному напрямку і частково деформували її на західному, північно-західному фланзі, що підтверджує припущення виказане раніше: «про роль поперечних розривних порушень у стримуванні процесів розвитку соляного карсту вздовж геологічних границь» [Павлюк 2010]. Депресійна лійка, за рахунок збільшення водопроникності відкладів, що закономірно зростає у результаті дії напрямлених динамічних підземних водоносних потоків у солевмісних відкладах, надалі переважно розросталася тільки на північний захід, збільшуючи площу водозбору та дебіт підземних вод, що надходять у підземні виробки, утворивши після 1995 р. ізометричну в плані форму зі співвідношенням розмірів близько 4:1 та з границями, які повністю відповідають геологічній будові ділянки (рис. 2).

Гідрогеологічні дослідження проведені в різні роки на Стебницькому родовищі калійних солей свідчать, що найбільш водопроникними є гіпергенно змінені корінні відклади воротищенської світи у межах соляного дзеркала. Серед різних типів найвищими фільтраційними властивостями характеризуються породи, що представлені полімінеральним солевим складом. Це можна пояснити так. Під час проходження процесів підземного вилюговування солей у зоні соляного дзеркала у породах, які ще зберігають загальну власну структуру, формуються кавернозні пустоти за рахунок неоднорідного розчинення мінералів, що створює умови для зростання водопроникності відкладів. Максимальні фільтраційні показники відкладів, розміщених над калійними пластами, пояснюються різним ступенем розчинності складного комплексу солей, коли переважно розчиняються зерна галіту та інші більш розчинні соляні мінерали, що створює порівняно пористе середовище. Таким же чином і водопроникність гіпсо-глинистої шапки (ГГШ), яка є відображенням будови корінних солевмісних порід, не характеризується стабільними показниками, а різко змінюється в плані та розрізі. І в першому і в другому прикладі більш водопроникні зони пов'язані з ділянками інтенсивно зім'ятих солевмісних відкладів воротищенської світи, як правило, у плані мають північно-західне простягання. Такі неоднорідності створюють своєрідні відносно водопроникніші "канали" в товщі соляного дзеркала та ГГШ. Породи ГГШ та солевмісні відклади, які вміщують ці "канали", є практично водонепроникними з фільтраційними властивостями в десятки і сотні разів меншими.

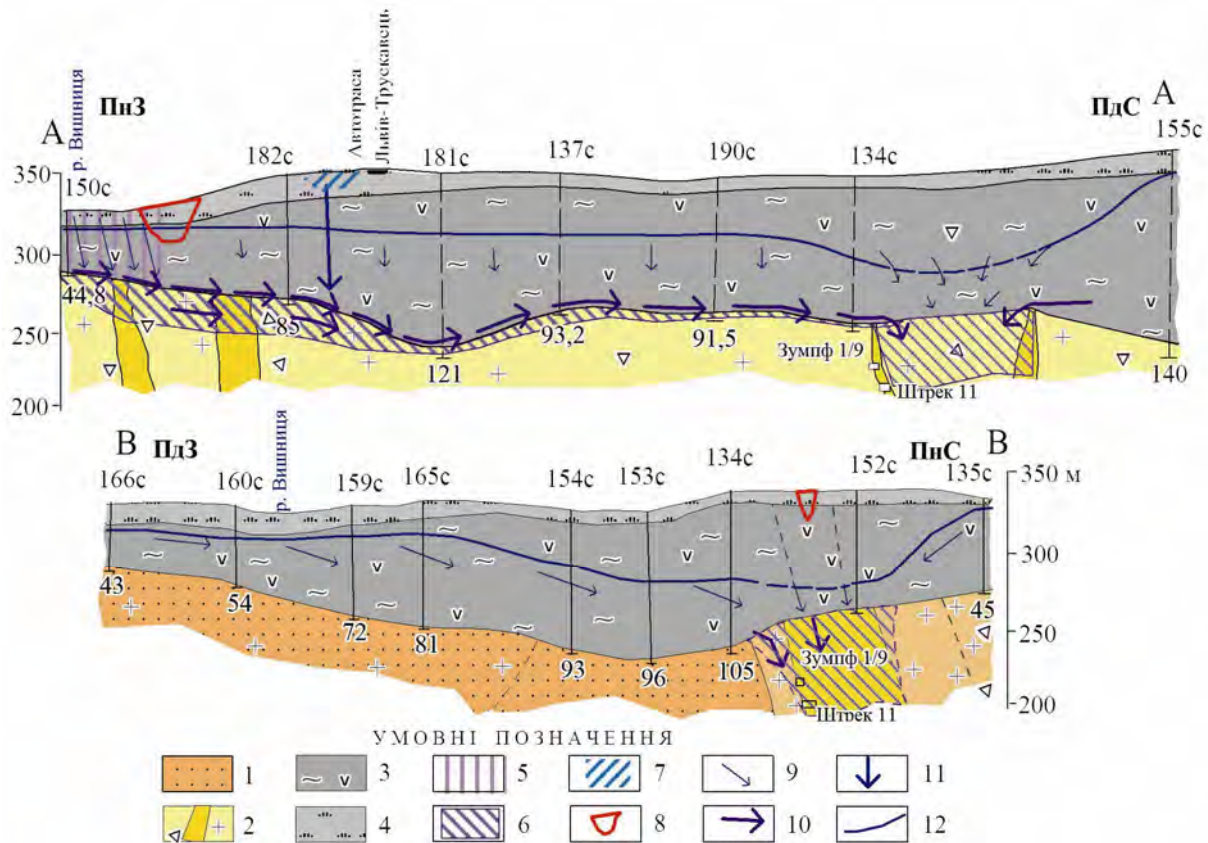


**Рис. 2.** Ситуаційний план розвитку екзогенних процесів.

Долина р. Вишниця, західна околиця м. Стебник

**Fig. 2.** Plan of exogenous processes evolution.

Vyshnytsya River valley, western outskirts of the Stebnyk city



**Рис. 3.** Схема розвитку карстових процесів на ділянці прориву підземних та поверхневих вод у рудник № 2 (використані матеріали Стебницького ГПП “Полімінерал”)

1 – відклади поляницької світи; 2 – відклади воротищенської світи; 3 – відклади ГГШ; 4 – четвертинні відклади; 5 – зона інтенсивних просадок і провалів; 6 – зона розвитку активних карстових процесів; 7 – зона інтенсивного розвантаження ґрунтових вод; 8 – карстові провали; 9 – напрямок руху ґрунтових вод; 10 – напрямок руху розсолів соляного дзеркала; 11 – вірогідний прорив поверхневих вод до карстових пустот; 12 – дзеркало поверхні водоносного горизонту у відкладах ГГШ

**Fig. 3.** Scheme of karst processes evolution on the place of breakthrough of underground and surface water in the mine No 2 (using the materials of Stebnyk “Polimineral”)

1 – Polyanytska deposits; 2 – Vorotyshenska deposits; 3 – deposits of “gypsum-clay cap”; 4 – Quaternary deposits; 5 – area of active subsidence and sinkholes; 6 – zone of active karst processes; 7 – area of intensive groundwater discharge; 8 – sinkholes; 9 – direction of movement of ground water; 10 – direction of movement of salt brines on the surface of salt mirror; 11 – the likely breakthrough of surface water to karst cavities; 12 – mirror surface of aquifer in deposits of “gypsum-clay cap”

Наглядним прикладом слугує ситуація, яка виникла на вул. Орлика в м. Стебник. Тут у зоні впливу площадної просадки земної поверхні та карстових провалів опинилося декілька будинків (рис. 4). З яких окремі вже зруйновано, а частина в аварійному стані. Ця ділянка становить витягнуту у плані зону вздовж геологічних границь та має розміри близько 150 на 40 м. У висновках за результатами інженерно-геологічних робіт, які проведені тут у 2000 р. зі з'ясування причин розвитку карстових процесів не зверталось необхідної уваги на умови та фактори їхнього розвитку та не було дано належної оцінки вагомих фактам.

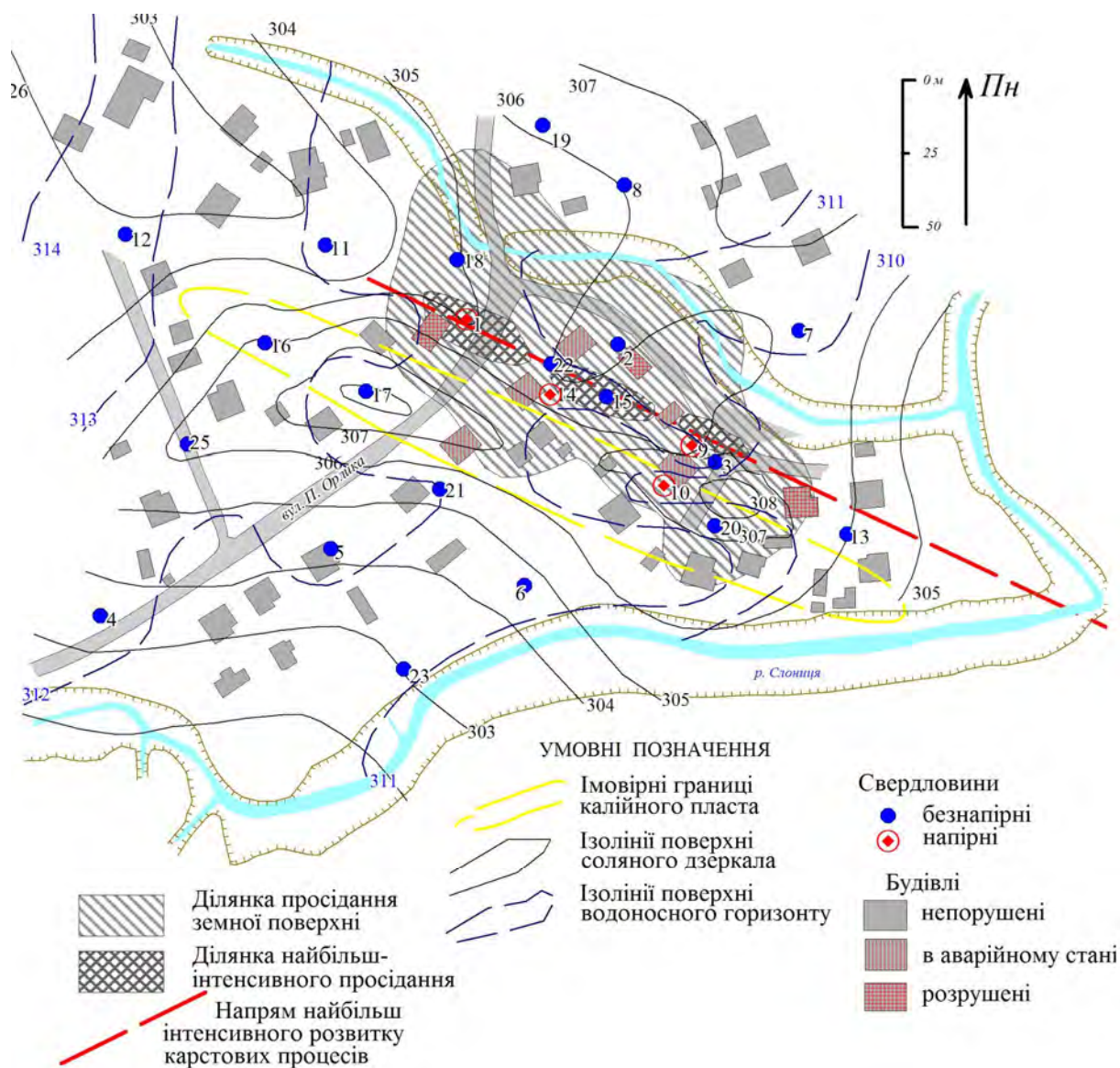
Наприклад, за основу бралися окремі локальні просідання захід-східного простягання, хоча безумовно, весь процес тут розвивається у північно-західному напрямку. Розміщення зони найвищих

піднять соляного дзеркала та усіх напірних свердловин (св. № 1, 9, 10, 14) знаходилося практично на одній прямій, простягання якої збігається з простяганням солевмісних пластів та зоною просідання. За даними попередніх геологічних розвідувальних робіт, саме в цьому місці спостерігається вихід під відклади ГГШ калійного пласта, що формує своєрідні фільтраційні та гідрогеологічні умови тощо.

#### Умови та фактори розвитку соляного карсту

Загальний огляд проблеми дав змогу виділити комплекс природних об'єктів дослідження необхідний для об'єктивної оцінки та прогнозу розвитку екзогенних процесів у межах поширення техногенно порушених солевмісних відкладів Передкарпаття.





**Рис. 4.** Ситуаційний план розвитку екзогенних процесів. Вул. П. Орлика, м. Стебник

**Fig. 4.** Plan of exogenous processes evolution. P. Orlyk Str., Stebnyk city

До основних природних умов, які є середовищем формування факторів впливу на розвиток соляного карсту слід зарахувати:

- геологічна будова;
- літохімічний склад відкладів;
- гідрологічні та гідрогеологічні умови;
- рельєф денної поверхні, поверхні ГГШ та соляного дзеркала;
- потужність та склад ГГШ;
- наявність та потужність горизонту насичених розсолів соляного дзеркала;
- кліматичні особливості;
- характер та масштаби епігенетичних змін соленосних відкладів.

**Геологічна будова.** Складна будова Передкарпатського передового прогину, представленого моласовим нижньонеогеновим комплексом порід з генеральним північно-західним простяганням структур та інтенсивною складчастістю багатьох порядків. Численними диз'юнктивними порушеннями вздовж

та впоперек простягання основних структур. Крутим (аж до вертикального) заляганням солевмісних пластів, їхньою переміжною шаруватістю. Комплекс виділених структур контролює просторовий розвиток карстових процесів [Павлюк, 2010].

**Склад відкладів.** Виражений теригенний склад корінних солевмісних порід і порід ГГШ. Різка зміна в плані та розрізі літохімічного та гранулометричного складу відкладів (Blajda, 2001). Завдяки чому програмується анізотропія в просторовому розвитку карстових процесів [Павлюк, 2010].

**Гідрологічні та гідрогеологічні умови.** Присутність та напрями постійних та тимчасових поверхневих водотоків, густина їх поширення на денній земній поверхні. Наявність водоносних горизонтів, їхньої потужності, динамічні характеристики, напрями та зв'язок між собою, наявність своєрідних каналів гідродинамічного зв'язку [Малишевська, 2006], місцеві бази дренажу. Багатокомпонентний хімічний склад підземних вод. Порівняно

невелика кількість природних проявів розвантаження розсолів, незначні дебіти джерел і штучних каптажних об'єктів [Захаров, 1959]. Техногенно обумовлене суттєве зниження базису дренажу водоносних горизонтів сприяє зростанню водообміну, динамічних характеристик та інфільтрації підземних вод, збільшує проникнення прісних поверхневих вод до соляного дзеркала та в масиви солевмісних відкладів, що, своєю чергою, активізує процеси вилугування солей.

*Рельєф денної поверхні, поверхні ГГШ та соляного дзеркала.* Крутизна схилів, пересіченість рельєфів, закономірності простягання долин та водорозділів, загальна просторова експозиція даних поверхонь у межах інженерно-геологічної ділянки та району, наявність безстічних форм, степінь враження карстом [Bruthans, 2000]. Цей комплекс морфологічних поверхонь має значний вплив на перерозподіл, напрямки, динамічні характеристики та інфільтрацію поверхневих та ґрунтових вод до поверхні та в межах соляного дзеркала. Як правило, в плані зберігається повторюваність загальних просторових морфологічних елементів перших порядків у будовах виділених вище поверхонь. Хоча трапляються й істотні відмінності, які мають суттєвий вплив на особливості розвитку та поширення карстових процесів [Павлюк, 2010].

*Потужність та склад ГГШ.* Її будова та склад відображають геологічні структури підстилаючих корінних порід [Frumkin, 2013] та є своєрідним хронологічним документом, який свідчить про масштаби та закономірності підземного карстування. Знаючи закони формування ГГШ, можна об'єктивно оцінити кількісну сторону процесів, які сприяють вилугуванню залежно від складу та структури осадових відкладів Передкарпаття. Хоча породи ГГШ, як правило, представлені порівняно водотривкими відкладами, все ж таки місцями володіють деякою водопроникністю, завдяки чому і здійснюється природне поступове та техногенно обумовлене активізоване підземне вилугування солей.

*Наявність та потужність горизонту насичених розсолів соляного дзеркала.* По всій території Передкарпаття, під породами ГГШ, в зоні "соляного дзеркала" переважно наявні надсольові розсоли, однією з основних характеристик яких є їхня висока мінералізація, (переважно насичені NaCl), а звідси і значна питома вага даних розсолів. Завдяки своїм фізичним властивостям, а саме високій питомій вазі порівняно з прісними водами, вони є хорошим гідроупором між солевмісними відкладами та вищезалігаючими агресивними відносно солей поверхневими водами. За пологого залягання поверхні соляного дзеркала триваліше збереження соляних покладів у верхній гідродинамічній зоні зумовлене тим, що насичені розсоли за малих градієнтах падіння рівня залишаються на поверхні солі в стані відносного спокою, захищаючи її від контакту з агресивною водою, що переміщається вище (за градієнта потоку ґрунтових вод до 0,003 рух відбувається,

але дуже повільно, не порушуючи цілісність пливки насичених розсолів [Захаров, 1964]. Порушення цього водозахисного горизонту призводить до різкої активізації карстових процесів.

*Кліматичні особливості.* Кількість та періодичність опадів, температурний режим, їхні сезонні та багаторічні коливання. Внаслідок річних кліматичних змін відбуваються аномальні сезонні та періодичні зростання процесів водообміну, інфільтрації, підняття рівнів і збільшення градієнтів потоків поверхневих та підземних водоносних горизонтів, від яких, своєю чергою, залежать періодичні зміни в швидкостях підземного вилугування солей. Сезонна зміна напрямів градієнтів температур між поверхнею та "сольовим дзеркалом" веде до змін у формуванні конвекційних потоків у гідрогеологічних умовах та впливає на інтенсивність карстових процесів загалом.

*Наявність епігенетичних змін соленосних відкладів.* Формування Бориславсько-Покутського та Самбірського покривів (внутрішньої частини Передкарпатського передового прогину), їхнє приєднання до Карпатської покривно-складчастої споруди відображає наросування Карпатської структури та її насування на Західно-Європейську платформу [Гнилко, 2003]. Тектонічний рух у Карпатському регіоні не припинився до наших днів, про це свідчать сучасні геодезичні спостереження [Третьак, Хом'як, 2013]. Гірські Карпати продовжують "рости" і насуваються на північний схід зі швидкістю декількох сантиметрів на рік. Геодинамічний тиск Карпатського покриву на пластичні масиви нижньонеогенових солей спричинює їх видавлювання у вигляді валоподібних підняття поверхні "соляного дзеркала" ("тектонічний діапіризм") догори відносно менш пластичних солевмісних масивів порід, які слугують своєрідними штампами видавлювання [Павлюк, 2010], поступово формуючи нові ділянки можливої активізації карстових явищ. Подібні процеси відбуваються і в товщі соляних відкладів, де внаслідок горизонтальних геодинамічних процесів спостерігається перерозподіл матеріалу окремих пропластків з нагнітанням його в замках складок через часткове витискання, а місцями і до повного виклинювання пластів у крилах. В умовах термодинамічної дії на соленосні породи відбуваються процеси перетворення цих відкладів. Внаслідок цього утворюються "динамічні" різновиди кам'яної солі з новими фізико-механічними властивостями (гранульовані, плитчасті, шламоподібні, крім того, встановлено, що у калійно-магнієвих пластах у зонах напруженості утворюються динамокластичні структури сколювання, так звані дуплекси) [Петротектонические... 2000], по тектонічному ослабленню порушення формуються зони вторинної карналітової (KCl-MgCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O) мінералізації [Повстен, 1980]. Наслідком чого може бути зменшення механічної стійкості та збільшення водопроникності відкладів.

На рис. 4 схематично подано комплекс природно-техногенних умов та факторів виникнення і розвитку активізації карстового процесу та їхню взаємодію.



**Рис. 5.** Схема середовища розвитку екзогенних процесів у міоценових соленосних відкладах українського Передкарпаття

**Fig. 5.** Scheme of environment of development exogenous processes in the Miocene salt deposits of the Ukrainian Precarpathians

Подібні праці уже існують, але акцент у них зосереджений на сульфатно-карбонатному карсті [Кузьменко, 2012]. Соляний карст з його відмінними фізико-хімічними та фізико-механічними властивостями, а також і особливостями морфологічної будови потребує окремого підходу. Від детальності вивчення та врахування особливостей

кожного з перерахованих об'єктів, які впливають на виникнення та активізацію небезпечних екзогенних геологічних процесів залежить успішність та результативність ведення моніторингових спостережень за станом природного середовища в межах впливу соляних рудників. Кінцевою метою яких має стати досягнення максимального



зменшення негативної дії на оточення від проведення та наслідків гірничо-видобувної діяльності.

Враховуючи ту особливість соленосних формацій, що вони є найвразливішими об'єктами з погляду інтенсивності карстування [Семчук, 2002], техногенно порушені райони їх поширення повинні бути охоплені дієвою системою моніторингу за розвитком негативних екзогенних явищ. Нагромаджений досвід показує, що систематичні моніторингові дослідження повинні випереджати створення майбутніх гірничо-видобувних підприємств, супроводжувати їх під час експлуатації та продовжуватися після їх завершення. Це дасть змогу фіксувати прояви активізації небезпечних геологічних процесів ще при їх зародженні, вчасно розробляти заходи, спрямовані на локалізацію небезпечних явищ та недопущення їх прогресуючого розвитку, як це відбулося після завершення гірничовидобувної діяльності підприємств на стебницькому "Полімінералі" та Калуш-Голинській групі родовищ.

Для забезпечення ефективності спостережень необхідно проводити комплексні моніторингові дослідження за вище виділеними об'єктами геологічного середовища, методологія вивчення яких міститиме такі основні системні складові:

- розроблення науково-методичного обґрунтування моніторингу окремих складових геологічного середовища та їхніх взаємозв'язків, які впливають на розвиток екзогенних процесів, а також інтерпретації результатів спостережень за ними;
- дослідження й аналіз кожного окремо та в комплексі усіх умов та факторів активізації і розвитку екзогенних процесів, їхня типізація в межах впливу гірничих підприємств, вивчення впливу на довкілля;
- обґрунтування і розроблення короткострокового та довгострокового прогнозу стану довкілля в гірничо-промислових районах та за їхніми межами, які базуються на глибокому вивченні всіх складових геологічного середовища та умов і факторів, які впливають на його розвиток;
- визначення напрямків та обсягів практичних рекомендацій щодо запобігання або зменшення негативної дії на стан довкілля від впливу змін геологічного середовища.

– для проведення ефективних досліджень за станом геологічного середовища, супровід даних робіт необхідно проводити за допомогою сучасних інструментальних спостережень високоточними вимірювальними та діагностичними приладами [Gent, 2010]. На цьому етапі матеріально-технічна база вітчизняних організацій, які займаються моніторинговими роботами є часто застарілою і не відповідає теперішньому передовому світовому рівню, що суттєво впливає на кількісні та якісні характеристики остаточних результатів.

#### **Наукова новизна**

На прикладі Передкарпатської соленосної провінції зібрано воедино та систематизовано всі основні природні фактори, що безпосередньо

впливають на розвиток карстових солевих процесів, зокрема негативних, та запропоновано основні складові організації системи моніторингу на ділянках активізації солевого карсту.

#### **Практична значущість**

Врахування результатів представленого комплексного аналізу закономірностей розвитку солевого карсту допоможе підвищити ефективність відповідних інженерно-геологічних, екологічних, геолого-геофізичних досліджень (у зокрема моніторингових), коректність і обґрунтованість висновків щодо особливостей просторово-часових закономірностей розвитку солевого карсту, надійність прогнозів подальшого розвитку цих процесів. Особливо вони будуть актуальні під час планування та провадження гірничих робіт. Систематичні моніторингові дослідження умов і факторів розвитку солевого карсту повинні випереджати створення майбутніх гірничо-видобувних підприємств, супроводжувати їх під час експлуатації та продовжуватися після їх завершення. Це дасть змогу фіксувати прояви активізації небезпечних геологічних чи техногенних процесів ще за їх зародження, чи прогнозувати їх можливе виникнення на стадії проектування підприємств, а також вчасно розробляти заходи, спрямовані на локалізацію небезпечних явищ та недопущення їх прогресуючого негативного розвитку.

#### **Висновки**

Активізація екзогенних процесів, зумовлених значним техногенним навантаженням на геологічне середовище, спричинює необхідність організації дієвої моніторингової системи за станом геологічного середовища. Кінцевою метою такої системи має стати оперативний контроль за розвитком небезпечних екзогенних процесів, прогноз та зменшення їхнього впливу на довкілля. Ефективність таких досліджень на ділянках активізації соляного карсту, залежить від системи спостережень, яка побудована на врахуванні всіх умов та механізмів (факторів), що мають відчутний вплив на розвиток негативних явищ. Основою такої системи в умовах соленосної провінції Передкарпаття має стати глибокий аналіз структурно-тектонічної та гідрогеологічної будови району досліджень як визначального фактору закономірностей розвитку екзогенних процесів.

#### **Література**

- Вашенко В. О. Про стратиграфію та седиментологічні особливості неогенових молас Бориславсько-Покутського та Самбірського покривів Українського Передкарпаття / В. О. Вашенко, О. М. Гнилко // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2003. – № 1. – С. 87–101.
- Гнилко О. М. Новий погляд на геологічну будову Бориславсько-Покутського та Самбірського покривів Українського Прикарпаття / О. М. Гнилко, В. О. Вашенко // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2003. – № 2. – С. 63–75.

- Джиноридзе Н. М. Анализ геологических, геофизических и гидрогеологических материалов по участку аварийных водопритоков в руднике № 2 Стебницкого клийного завода с целью локализации источников поступления и путей движения вод / Н. М. Джиноридзе, А. В. Доливо-Добровольский, В. П. Осипов // ВНИИ "Галургии". – 1987. – 40 с.
- Захаров В. Ф. Гидрогеологические задачи при открытых разработках калийных солей на Домбровском месторождении / В. Ф. Захаров // Труды ВНИИГ. – 1964. – Вып. XLVI. – С. 64–73.
- Захаров В. Ф. Надсолевые рассолы Предкарпатья / В. Ф. Захаров, Л. Е. Ходьков, И. Н. Ковалева // Труды ВНИИГ. – 1959. – Вып. XXXV. – С. 299–331.
- Кузьменко Е. Д. Довгострокове прогнозування провальнo-просадкових проявів карсту / Е. Д. Кузьменко, І. В. Чепурний, П. П. Чалий. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2012. – 272 с.
- Малишевська О. С. Науково-технічні методи і засоби зменшення техногенного навантаження на довкілля в районі затоплених калійних шахт (на прикладі рудника "Калуш"): автореф. дис. ... канд. техн. наук / О. С. Малишевська. – Ів. Франківськ. – 2006. – 27 с.
- Отчет по переоценке запасов калийных солей Стебницкого месторождения Львовской области / В. М. Ступницкий, Ю. М. Жексимбаев, А. И. Федченко и др. // Львівська ГРЕ. Інв. – 1995. – № 4174. – 377 с.
- Отчет по результатам гидрогеологических исследований на участке течи в штреке 43/2 рудника № 1 Стебницкого калийного комбината. / Р. Ф. Апсе, Л. Б. Воронова, С. С. Козлов и др. – Стебник: Фонди СтКЗ, 1966. – 250 с.
- Павлюк В. І. Вплив геологічних факторів на екзогенні процеси міоценових соленосних відкладів Українського Передкарпаття. / В. І. Павлюк // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2010. – № 2 (151). – С. 89–104.
- Петротектонические основы безопасной эксплуатации Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей / Н. М. Джиноридзе, М. Г. Аристаров, А. И. Поликарпов и др. – Соликамская типография, 2000. – 392 с.
- Повстен Е. Ф. Карналлит как показатель разрывных нарушений в галогенных отложениях Предкарпатья / Е. Ф. Повстен, Г. М. Повстен // Литология и геохимия соленосных толщ. – К.: Наукова думка, 1980. – С. 65–69.
- Семчук Я. М. Дослідження процесів розчинення і вилуговування соляних порід для оцінки наслідків затоплення калійних шахт / Я. М. Семчук, О. С. Малишевська // Хім. пром-сть України. – 2002. – № 1. – С. 9–12.
- Третьяк К. Р. Дослідження динаміки горизонтальних рухів земної кори Європи за даними GNSS-спостережень (2000–2010 pp.) / К. Р. Третьяк, А. І. Вовк // Геодинаміка. – 2012. – № 2(13). – С. 5–17.
- Хом'як Л. М. Моделювання напружено-деформованого стану осадового комплексу автохтону в зоні динамічного впливу насувного клину / Л. М. Хом'як, М. М. Хом'як // Геодинаміка. – 2014. – № 1(16). – С. 58–71.
- Blajda, R. Influence of lithological and structural factors on the development of salt karst in the "Wieliczka" salt mine deposit (in Polish) / R. Blajda, J. Gorecki // Geologia: Kwartalnik Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie. – 2001. – No. 27. – pp. 329–340.
- Bruthans J. Thickness of cap rock and other important factors affecting the morphogenesis of salt karst / J. Bruthans, M. Jakub Filippi, O. Zeman // Acta carsologica. – 2000. – No. 29/2. – pp. 51–64.
- Gent H. V. The internal geometry of salt structures – A first look using 3D seismic data from the Zechstein of the Netherlands / H. V. Gent, J. L. Urai, M. Keijzer // Journal of Structural Geology. – 2010. – XXX. – pp. 1–20.
- Frumkin A. Treatise on Geomorphology. Salt Karst / A. Frumkin // Academic Press. – 2013. – Vol. 6. – pp. 407–424.

В. И. ПАВЛЮК

ГП НИИ "Галургия", г. Калуш, 77300, г. Калуш, ул. Фабрична, 5а, ел. почта: notebooc@gmail.com

#### ПРИРОДНЫЕ ФАКТОРЫ АКТИВИЗАЦИИ ЭКЗОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ТЕХНОГЕННО ИЗМЕНЕННЫХ УЧАСТКАХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СОЛЕНОСНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПРИКАРПАТЯ

**Цель.** Наглядно продемонстрировать геологические процессы и условия и кратко обосновать выбор объектов мониторинга, влияющие на развитие солевого карста и выделить основные направления организации их исследований. **Методика.** Основными методами, которые использовались в процессе подготовки и проведения данной работы являлись: – анализ, фондовых ресурсов, полевые методы исследования, сотрудничество с органами местного самоуправления и службами областного управления министерства чрезвычайных ситуаций; – количественный и качественный анализ данных, их систематизация, создание соответствующих геоинформационных баз данных в среде Excel и Mapinfo, сравнение, корреляция и многомерное объективное шкалирование полученных результатов и др.; – верификация результатов, что позволило проверить полученную информацию, провести ее окончательный анализ. Верификационная, логико-методологическая процедура установления истинности полученных данных на основании соответствия к полученным эмпирическим и фактическим данным в

основном была апробирована на ЭВМ в среде "MapInfo" методом многослойного наложения картографической, статистической и аналитической информации разнопланового фактического материала в двумерном и трехмерном изображении. **Результаты.** Представлен общий обзор и систематизированы условия и факторы, что формируют и способствуют активизации техногенно обусловленного солевого карста; предложены основные составляющие организации системы мониторинга на участках активизации солевого карста. **Научная новизна.** На примере Предкарпатской соленосной провинции собрано воедино и систематизированы все основные природные факторы, имеющие непосредственное влияние на развитие карстовых солевых процессов, в том числе негативных. **Практическая значимость.** Собранные воедино все известные и малоизвестные до сих пор факторы влияния на развитие солевого карста помогут в планировании и выполнении инженерно-геологических изысканий, разработке различного рода природоохранных мероприятий или планировании хозяйственной деятельности на территориях, где потенциально возможен или уже развивается соляной карст. Это позволит фиксировать проявления активизации нежелательных геологических или техногенных процессов еще при их зарождении, или прогнозировать их возможное появление на стадии проектирования предприятий. А также вовремя разрабатывать мероприятия, направленные на локализацию опасных явлений и недопущения их прогрессирующего негативного развития.

*Ключевые слова:* мониторинг; солевой карст; Предкарпатье; геологическое строение; гидрогеологические условия.

V. I. PAVLIUK

SI RSI "Halurhiya" Kalush, 77300, Kalush, Iv. Frankivsk region, Fabrichna str., 5a, e-mail: notebooc@gmail.com

#### NATURAL FACTORS OF ACTIVATION THE EXOGENOUS PROCESSES AT TECHNOGENICALLY MODIFIED SITES OF THE SALT DEPOSITS OF THE PRECARPATHIANS

**Purpose.** Evidently demonstrating of the geological processes and conditions and briefly justify the selection of monitoring, influencing the development of the salt karst and identify the main directions of their research. **Methodology.** The main methods used in the preparation and conduct of this study are: – analysis of archive datas, field methods, cooperation with local government and regional offices of the Ministry of Emergency Situations; – quantitative and qualitative analysis of data, their classification, creation of appropriate GIS databases in Excel and Mapinfo environment, comparison, correlation and multidimensional scaling of the results and others; – verification of results, allowing us to check the received information, to their final analysis. Verification, logical and methodological procedure for establishing the truth of the data on the basis of their consistency with empirical data and actual mostly been tested on a computer in the environment "MapInfo" method of multilayer overlay mapping of statistical and analytical information diverse factual material in two-dimensional and three-dimensional image. **Results.** Is represented overview and have systematized conditions and factors that shape and promote the revitalization technologically conditioned salt karst; proposed the basic components of the monitoring system of salt karst areas activation. **Originality.** On example of Precarpathians salt provinces gathered together and systematized all the major environmental factors that have a direct impact on the development of salt karst processes, including negative. **Practical significance.** Assembled together all known and little-known until now facts that have impacts on the development of the salt karst help us in the planning and execution of the geotechnical surveys, development of various kinds of environmental activities economic or planning activities in areas where the potential or already are developed the salt karst. This will fix unwanted activation displays of geological or technological processes during their origin, or predict they occur at the design stage companies. And also, in time to shape events which aimed at localization of dangers and prevent them progressing to negative development.

*Key words:* monitoring, salt karst, Precarpathians, geological structure, hydrogeological conditions

#### REFERENCES

- Vashchenko V. O., Hnylko O. M. *Pro stratyografiyu ta sedymentolohichni osoblyvosti neohenovykh molas Boryslavs'ko-Pokut's'koho ta Sambirs'koho pokryviv Ukrayins'koho Peredkarpattya* [About the stratigraphy and sedimentology features of Neogene molasse of Boryslav – Pokuttya and Sambir covers Ukrainian Precarpathians]. *Heolohiya i heokhimiya horyuchykh kopalyn* [Geology & geochemistry of combustible minerals]. 2003, No. 1, pp. 87–101.
- Hnylko O. M., Vashchenko V. O. *Novyy pohlyad na heolohichnu budovu Boryslavs'ko-Pokut's'koho ta Sambirs'koho pokryviv Ukrayins'koho Prykarpattya* [A new view at the geological structure of Boryslav-Pokuttya and Sambir covers of Ukrainian Carpathians]. *Heolohiya i reokhimiya horyuchykh kopalyn* [Geology & geochemistry of combustible minerals]. 200, No. 2, pp. 63–75.
- Dzhinoridze N. M., Dolivo-Dobrovol'skiy A. V., Osipov V. P. *Analiz geologicheskikh, geofizicheskikh i gidrogeologicheskikh materialov po uchastku avarijnykh vodopritokov v rudnike № 2 Stebnickogo kljnogo zavoda s cel'ju lokalizacii istochnikov postupleniya i putej dvizheniya vod* [Analysis of geological, geophysical and hydrogeological materials of emergency water inflow of the mines division № 2 Stebnyk



- potash plant with a view sources allocation entry and tracks movement of water]. VNII "Galurgii" [USRI "Galurgiya"]. 1987, 40 p.
- Kuz'menko E. D., Chepurny`j I. V., Chaly`j P. P. *Dovgostrokove prognozuvannya proval'no-prosadvkov`x proyaviv karstu* ., Ivano-Frankivs`k: IFNTUNG, 2012, 272 p.
- Malysheva O. S. *Naukovo-tekhnichni metody i zasoby zmenshennya tekhnohennoho navantazhennya na dovkillya v rayoni zatoplennykh kaliynykh shakht (na prykladi rudnyka "Kalush")* [Scientific and technical methods and means of reducing environmental impact in the area flooded potash mines (for example mine "Kalush")]. *Avtoferat kandydata tekh. nauk. Iv. Frankivs`k* [Author's abstract of candidate Sc. Science. Ivano-Frankivsk]. 2006, 27 p.
- Petrotektonicheskie osnovy bezopasnoj jekspluatatsii Verhnekamskogo mestorozhdeniya kalijno-magnievyyh solej [Petrogeny-tectonic basics of safe operation Verkhnekamsk potassium and magnesium salt mines] / Dzhinoridze N. M., Aristarov M. G., Polikarpov A. I. i.dr. – Solikamskaja tipografija [Solykamsk Typography]. 2000, 392 p.
- Semchuk Ya. M., Malyshevs`ka O. S. *Doslidzhennya protsesiv rozchynennya i vyluhovuvannya solyanykh porid dlya otsinky naslidkiv zatoplennya kaliynykh shakht* [Investigation of dissolution and leaching of salt rocks to assess the impact of flooding of potash mines]. *Khim. prom-st' Ukrainy* [Ukraine Chemical industry]. 2002, No. 1, pp. 9–12.
- Zaharov V. F. *Gidrogeologicheskie zadachi pri otkrytykh razrabotkakh kalijnykh solej na Dombrovskom mestorozhdenii* [Hydrogeological problems on the open-cast mining of potash in the Dombrowskiy quarry]. *Trudy VNIIG* [USRI "Galurgiya"]. 1964, issue XLVI, pp. 64–73.
- Zaharov V.F., Hod'kov L. E., Kovaleva I. N. *Nadsolevye rassoly Predkarpat'ja* [Precarpathians over-salt brines]. *Trudy VNIIG* [USRI "Galurgiya"]. 1959, issue. XXXV, pp. 29–331.
- Otchet po pereocenke zapasov kalijnykh solej Stebnickogo mestorozhdeniya L'vovskoj oblasti* [Report on the revaluation reserves of Stebnik potash deposit of Lviv region]. Stupnickij V. M., Zhaksimbaev Ju. M., Fedchenko A. I. i dr. / L'vivs`ka GRE. Inv. № 4174 [Lviv GRE], 1995, 377ps.
- Otchet po rezul'tatam gidrogeologicheskikh issledovanij na uchastke techi v shtreke 43/2 rudnika № 1 Stebnickogo kalijnogo kombinata* [Report on the results of hydrogeological investigations on the site of a leak in the roadway 43/2 at mine number 1 of Stebnik potash plant] / Apsse R. F., Voronova L. B., Kozlov S. S. i dr. // Stebnyk: Fondy StKZ [Stebnyk: Fonds StPP]. 1966, 250 p.
- Pavlyuk V. I. *Vplyv heolohichnykh faktoriv na ekzohenni protsesy miotsenovykh solenosnykh vidkladiv Ukrayins'koho Predkarpat'tya* [Influence of geological factors upon the exogenous processes of the Miocene salt-bearing sedimentation of Ukrainian Precarpathia]. *Heolohiya i heokhimiya horyuchykh kopalyn* [Geologie & geochemistry of combustible minerals] . 2010, No. 2 (151, pp. 89–104.
- Povsten E. F., Povsten G.M. *Karnallit kak pokazatel' razryvnykh narushenij v galogennykh otlozhenijah Predkarpat'ja* [Carnallite as an indication of faults in Precarpathian halogen sediments]. *Naukova dumka* [Lithology and geochemistry of salt strata.]. 1980, pp. 65–69.
- Tretyak K. R., Vovk A. I. *Doslidzhennya dynamiky horyzontal'nykh rukhiv zemnoyi kory Yevropy za danymy GNSS-sposterezhen' (2000–2010 rr.)* [Study of dynamics of horizontal crustal movements in Europe according to GNSS observation (2000–2010)]. *Geodynamics*. 2012, No. 2(13, pp. 5–17.
- Khom`yak L. M., Khom`yak M. M. *Modelyuvannya napruzhenno-deformovanoho stanu osadovoho kompleksu avtokhtonu v zoni dynamichnoho vplyvu nasuvnoho klynu* [The stress-strain state modelling of the autochthonous sedimentary complex in the dynamic influence zone of the thrust wedge]. *Geodynamics*. 2014, No. 1(16), pp. 58–71.
- Blajda, R., Gorecki, J. Influence of lithological and structural factors on the development of salt karst in the "Wieliczka" salt mine deposit (in Polish). *Geologia: Kwartalnik Akademii Go`rniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie*. 2001, No. 27, pp. 329–340.
- Bruthans J., Jakub, Filippi M., Zeman O. Thickness of cap rock and other important factors affecting the morphogenesis of salt karst. *Acta carsologica*. 2000, No. 29/2, pp. 51–64.
- Gent H. V., Urai J. L., Keijzer M. The internal geometry of salt structures – A first look using 3D seismic data from the Zechstein of the Netherlands. *Journal of Structural Geology*. 2010, XXX, pp. 1–20.
- Frumkin A. *Treatise on Geomorphology. Salt Karst*. Academic Press. 2013, Vol. 6, pp. 407–424.

Надійшла 20.04.2016 p.