

АНАЛІЗ УМОВ ЗАЛЯГАННЯ МІОЦЕНОВОЇ СОЛЕНОСНОЇ ФОРМАЦІЇ ЗАКАРПАТСЬКОГО ПРОГИНУ**ANALYSIS OF THE DEPOSITIONAL CONDITIONS OF THE MIOCENE SALT-BEARING FORMATION FORMATION OF THE TRANSCARPATHIAN TROUGH**

Н. П. Сюмар, С. М. Стадніченко
Nataliia P. Siumar, Svitlana M. Stadnichenko

Institute of Geological Sciences, NAS of Ukraine, 55-b O. Honchara Str., Kyiv, Ukraine, 01601
(siumar@meta.ua, stadnichenkosm@gmail.com)

Соленосні формації є важливою мінерально-сировинною базою для харчової, хімічної та інших галузей промисловості. Нині фактично всі родовища кам'яної солі України виведені з експлуатації через розвиток небезпечних екзогенних процесів і пов'язане з ними погіршення екологічного стану територій, низьку конкурентоспроможність продукції, а також ведення бойових дій і тимчасову окупацію частини родовищ. У зв'язку з цим відновлення геологічного вивчення як перспективних ділянок, так і раніше розвіданих родовищ Закарпатського прогину є важливим завданням для забезпечення потреб України в кам'яній солі. Метою роботи є уточнення геологічної будови, закономірностей поширення та умов залягання міоценової соленосної формації Закарпатського прогину із застосуванням засобів просторового аналізу ГІС. За результатами узагальнення та інтерпретації геологічних і геофізичних матеріалів створено ГІС-інтегровану базу даних, яку використано для апробації нової методики побудови структурних моделей. Побудовано моделі глибин залягання та потужності соленосної формації в межах Чоп-Мукачівської та Солотвинської западин. Виконано аналіз достовірності отриманих моделей і верифікацію межі поширення соленосної формації. У роботі також узагальнено відомості про багатовікову історію розробки родовищ кам'яної солі в межах Закарпатської внутрішньої западини. Наведено геологічну та гідрогеологічну характеристику низки структур, перспективних для проведення детальних пошукових і розвідувальних робіт на кам'яну сіль з метою їх подальшого освоєння. Оцінено перспективи видобутку кам'яної солі методом підземного вилуговування та можливості подальшого використання створених підземних камер для зберігання вуглеводнів з метою підвищення надійності газового транзиту до країн Європи або для інших господарських потреб.

Ключові слова: соленосна формація, геоінформаційні технології, солянокупольні структури, Чоп-Мукачівська западина, Солотвинська западина, Закарпатський прогин.

Saliferous formations are the mineral resource base for food, chemical and other industries. In fact, all rock salt deposits in Ukraine have been decommissioned due to the rapid progression of exogenous processes and, as a result, a significant deterioration of the deposits environmental condition, uncompetitive products in terms of quality and pricing, hostilities and territories temporary occupation. The restoration of geological exploration of both prospective areas and previously explored deposits of the Transcarpathian Trough can meet Ukraine's needs for rock salt. The aim of this study is to clarify the geological structure, distribution regularities and analysis of occurrence conditions of saliferous formation of the Transcarpathian Trough using GIS spatial analysis tools. Based on the results of the generalization and interpretation of geological and geophysical materials of the Miocene saliferous formation of the Transcarpathian Trough, a GIS-integrated database was designed and used to apply a new technique for structural models development. In particular, models of the depths and thickness of the saliferous formation within the Chop-Mukachevo and Solotvyn depressions were developed. The obtained models were analyzed to assess the degree of reliability and the verification of the boundary of the saliferous formation was done. Also, information is provided on the current state of these deposits, the vast majority of which are flooded due to the accumulation of hydrogeological and engineering geological problems. The history of the centuries-long development of rock salt deposits within the Transcarpathian internal depression was studied. Detailed geological and hydrogeological information is also provided on a number of structures that are prospective for advanced survey/exploration work on rock salt for further exploitation. The perspectives of the approach to rock salt extraction by in-situ leaching with the subsequent use of the resulting chambers for hydrocarbon storage to improve the reliability of gas transit to Europe or for other specific purposes were assessed.

Keywords: salt-bearing formation, GIS, salt dome structures, Chop-Mukachevo basin, Solotvyno basin, Transcarpathian trough.

Цитування: Сюмар Н. П., Стадніченко С. М., 2023. Аналіз умов залягання міоценової соленосної формації Закарпатського прогину. Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України. 2023. Т. 16, вип. 2. С. 87–98. <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2023.294237>.

Citation: Siumar N. P., Stadnichenko S. M., 2023. Analysis of the depositional conditions of the Miocene salt-bearing formation formation of the Transcarpathian Trough. Collection of scientific works of the Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine. Vol. 16. Iss. 2. Pp. 87–98. <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2023.294237>.

ВСТУП

Соленосні відклади є сировиною для отримання багатьох сполук таких, як калій, магній, стронцій, бром, йод та ін., можуть використовуватись у природному стані, а також розглядатися як перспективні для ізоляції відходів, що становлять небезпеку для населення і довкілля та не піддаються переробці. Крім того, соленосні формації, які приурочені до нафтогазоносних басейнів, можуть забезпечити достатні умови для формування покладів вуглеводнів. Тому вивчення закономірностей розвитку та умов залягання цих формацій має принципове значення, а площі їх поширення активно залучаються в економічну діяльність. Для більш якісного моделювання геологічних об'єктів та збільшення ефективності пошукових робіт на перспективні ділянки необхідно розуміння процесів і особливостей соляної тектоніки. Для встановлення й геометризації геологічних характеристик, умов залягання соленосної формації Закарпатського внутрішнього прогину та подальших досліджень щодо визначення перспективних площ та робочих інтервалів, для залучення їх у економічну діяльність було застосовано засоби просторового статистичного аналізу ГІС, а саме ArcGIS Professional Advanced User Type з використанням модулів ArcGIS Spatial Analyst та ArcGIS 3D Analyst.

ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕНЬ

У межах Закарпатського внутрішнього прогину соленосна формація стратиграфічно відносяться до терезлянської світи баденського ярусу середнього міоцену. За літологічним складом світа поділяється на дві частини: нижньотерезлянську та верхньотерезлянську. *Нижньотерезлянська підсвіта* складена темно-сірими і сірими аргілітами з тонкими прошарками алевролітів, пісковиків, іноді туфів і туфітів з пластами гіпсів і ангідритів. Товщина підсвіти змінюється від декількох метрів до 360 м. *Верхньотерезлянська підсвіта* — це в основному сіра та біла кристалічна кам'яна сіль, яка розділена пачкою соленосних глин з прошарками ангідриту потужністю 40–110 м (Бокун, 1981, Кореневский, 1959).

Характерною особливістю залягання соленосних відкладів Закарпатського прогину є прояви галотектокінезу — перерозподілу об'ємів соляних порід у диференційованому полі тектонічних напружень та утворення соляних структур (роздувів, антиклиналей, кріптодіапірів, діапірів).

Соленосна формація Закарпатського внутрішнього прогину розділяється Вигорлат-Гутинською вулканічною грядою на дві відокремлені частини, які знаходяться в межах Солотвинської та Чоп-Мукачівської улоговин.

ВИХІДНІ МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Вихідні дані

Вихідною інформацією для побудови моделей глибин залягання та потужності соленосної товщі слугували дані свердловин із повними або частковими розрізами соленосних відкладів, геолого-геофізичні розрізи (Лизанець, Бабаєв, Коваль, 2003), геологічні карти із нанесеними свердловинами та розривними порушеннями (Белюсов, 1951; Васильєв, 1957; Удич, 1990, 1991; Селянчин, 1995; Кореневский, 1951), а також фондові матеріали щодо історичного видобутку кам'яної солі у XVIII–XX ст. (Китык, Бокун, Панов та ін., 1983; Иванов, Каплан, Генкина, 1947).

Усього використано дані 143 свердловин у межах Солотвинської западини та 81 свердловин та 6 геолого-геофізичних розрізів у межах Чоп-Мукачівської западини. Дані свердловин розглядаються як найбільш достовірні, однак їх точність залежить від якості стратиграфічного розчленування розрізів і коректності інтерпретації.

Геолого-геофізичні розрізи характеризуються нижчою просторовою точністю через ручний характер їх побудови. Це призводить до похибок у прив'язці меж як по трасі профілю, так і по глибині, тому такі дані використовуються переважно як допоміжні для реконструкції загальної геологічної будови.

У північно-східній частині Солотвинської западини спостерігається недостатня щільність достовірних даних щодо поширення соленосних відкладів, оскільки наявні свердловини не перевищують глибин кількох сотень метрів. У зв'язку з цим для оконтурювання соленосного басейну додатково використано фондові матеріали різних років.

Картографічні матеріали були оцифровані та приведені до єдиної географічної системи координат.

Методика моделювання

Для побудови моделей соленосної товщі Закарпатського внутрішнього прогину використано та удосконалено раніше розроблену авторську

методику (Лобасов, 2010). В основі підходу лежить побудова узгоджених математичних моделей потужності соленосної товщі із застосуванням сплайн-апроксимації та апріорної геологічної інформації про будову розрізу.

Реалізація моделювання виконувалась у середовищі ArcGIS із використанням інструментів Spatial Analyst та 3D Analyst.

Для побудови растрових поверхонь застосовувалися два основні методи інтерполяції: inverse distance weighted (IDW) та spline.

Метод IDW базується на припущенні, що значення в невідомій точці є зваженою комбінацією значень сусідніх точок, де ваги обернено пропорційні відстані. Метод є стабільним і добре працює на різних типах даних, однак його точність суттєво залежить від щільності та рівномірності просторового розподілу вихідних точок. Для геологічних даних, які зазвичай є нерівномірними, це може призводити до згладження локальних аномалій.

Метод сплайнів забезпечує більш гладку та детальну апроксимацію поверхні і часто дає вищу локальну точність. Водночас на практиці, при сильно неоднорідному розподілі вихідних даних, spline-інтерполяція може бути нестійкою і в окремих випадках не забезпечує коректної побудови поверхні (Сюмар, 2011). Тому вибір методу здійснювався з урахуванням структури вихідних даних та характеру їх просторового розподілу.

Побудова моделі потужності

Модель потужності соленосної товщі будувалася на основі значень у свердловинах і на профілях. Уздовж контуру поширення відкладів задавалися додаткові контрольні точки з нульовими значеннями потужності, що дозволяє коректно фіксувати межі формації.

Точки, що потрапляють у межі соляних діапирів, попередньо виключалися з розрахунків. Діапіри оконтурювалися замкненими полігонами, на межах яких задавався різкий перехід потужності. Всередині цих структур потужність приймалася рівною висоті соляного тіла над підшовою.

Ітераційна процедура моделювання

Побудова моделі виконувалася за ітераційною схемою.

На першій ітерації формувалася згладжена модель потужності (тренд) із використанням первинного контуру поширення соленосної товщі.

На другій ітерації отримана модель використовувалася як апріорне наближення, після чого здійснювалося уточнення поверхні шляхом мінімізації відхилень між модельними значеннями та даними свердловин. Одночасно уточнювалося положення контуру поширення соленосної товщі.

На i -й ітерації як апріорне наближення використовувалася модель, отримана на $(i-1)$ -й ітерації. У процесі ітераційної оптимізації відбувалося послідовне уточнення геометрії моделі та межі поширення соленосної товщі.

Ітераційна процедура завершувалася при досягненні порогового значення максимальної або середньоквадратичної похибки між модельними значеннями та даними свердловин.

Модель покрівлі соленосної товщі

Модель покрівлі соленосної товщі будувалася на основі свердловинних і профільних даних із використанням контуру поширення, отриманого з моделі потужності.

На першому етапі формувалася згладжений тренд глибин залягання (аналог моделі). На другому етапі виконувалася остаточна інтерполяція з урахуванням апріорних обмежень та узгодженням із трендовою поверхнею.

Візуалізація

Для побудови та візуалізації тривимірної моделі глибини залягання соленосної товщі використовувався програмний комплекс ArcGIS із застосуванням інструментів 3D Analyst (реалізований в ArcGIS Professional Advanced User Type).

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

В результаті реалізації методики на створеному масиві первинних даних було отримано моделі глибин залягання покрівлі формації у Чоп-Мукачівській та Солотвинській улоговинах та моделі потужності формації (рис. 1, 2). Особливістю побудов є врахування впливу розривних порушень на розподіл речовини соленосних формацій, прояви галотектокінезу.

Аналіз моделей глибини залягання та потужності соленосної формації показав, що в Чоп-Мукачівській улоговині розвиток соленосних відкладів встановлено в межах низки структур: Залужська, Яблунівська, Іршавська, Свалявська та Русько-Комарівська (рис. 1 А, Б).

Глибини залягання соленосних відкладів коливаються від 810 м (св. Свалявська 6-Т) до 2758 м (св. Русько-Комарівська 1-РК). В нормальному непорушеному заляганні соляна товща вста-

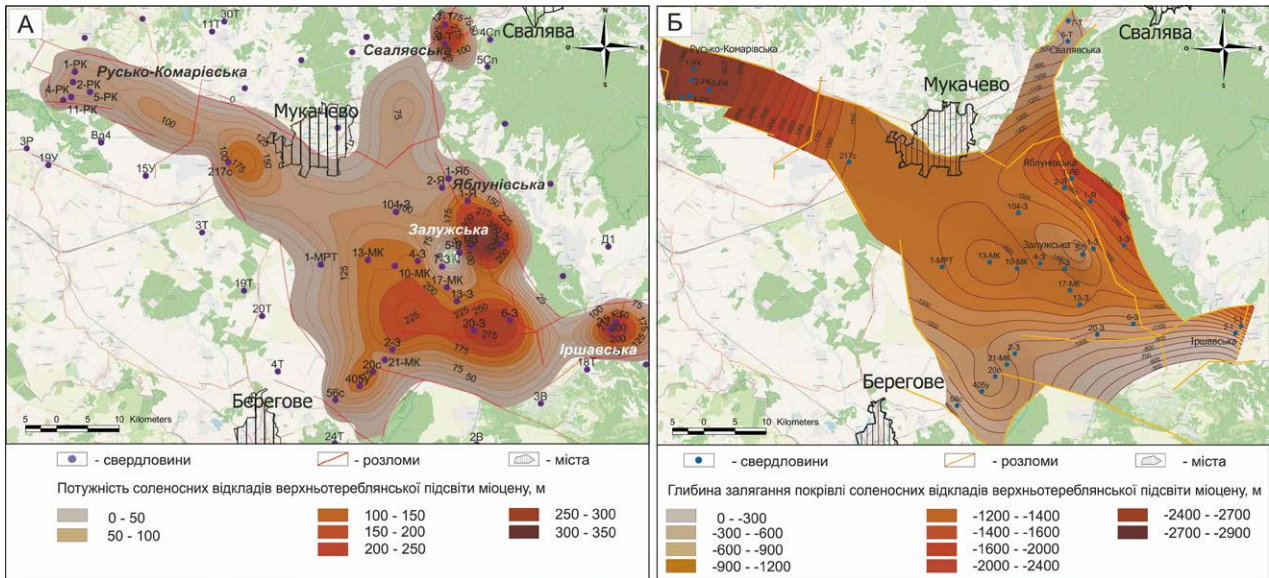


Рис. 1. Моделі верхньотереблянської підсвіти Чоп-Мукачівської улоговини Закарпатського прогину: А — потужності, Б — глибини залягання.

Fig. 1. Models of the Upper Tereblyan subformation of the Chop-Mukachevo basin of the Transcarpathian Trough: A — thickness, B — depth.

новлюється на глибині 1800–2000 м (рис. 1Б). Мінімальна потужність відкладів складає 18 м (св. Яблунівська 2-Я), а максимальна — 388 м (св. Залужська 3-3) (рис. 1А).

Нижче наводиться характеристика окремих структур, що містять поклади кам'яної солі.

Залужсько-Яблунівська структура знаходиться на південний схід від м. Мукачево та являє собою соляний «роздув», що ускладнює (без прориву) пологу брахіантиклінальну складку. Розміри всієї складки по ізогіпсі –1000 м 12 x 5 км. В апікальній частині соляний масив розкритий на глибині 810 м при потужності близько 300 м (рис. 1). Літологічно породи представлені кам'яною сіллю різного ступеня забруднення з прошарками засолених глин, пісковиків і туфітів.

Іршавська структура також представляє соляний «роздув», що ускладнює без прориву брахіантиклінальну складку. Площа її по ізогіпсі — 1600 м становить 6 x 3 км. В апікальній частині соляний масив встановлений на глибині 1072 м, потужність соляної товщі за даними структурно-пошукового і розвідувального буріння досягає 322 м (рис. 1).

Свалівська структура розташована на південному заході м. Сваліява та утворена соляним «роздувом» розміром 2,1 x 0,9 км при потужності 274 м. Глибина залягання покрівлі соляного тіла 810 м (рис. 1).

Рутько-Комарівська структура знаходиться на півночі однойменного населеного пункту та представляє собою антиклінальне підняття. Соленосні відклади встановлені геофізичним дослідженням на глибинах 2744–2900 м (рис. 1).

Аналіз моделей глибини залягання та потужності соленосної формації показав, що відклади верхньотереблянської підсвіти Солотвинської улоговини простягається уздовж південно-західного схилу Карпатської гірської споруди від Вигорлат-Гутинської гряди і продовжується в південно-східному напрямку на територію Румунії.

Товщина підсвіти в солотвинській частині прогину мінлива і змінюється від перших метрів (св. 9, 10-Теребля; 3, 7, 9-Тячів; 12, 27-Тересва; 2, 7-Солотвино; 1-Грушево) до 1000 м і більше метрів (св. 1-Солотвино, 1-Данилово та ін.).

Басейн зазнав проявів соляної тектоніки, внаслідок чого утворилася низка солянокупольних структур та діпірів, в яких потужність солі сягає 1000 м і більше. Якщо у пластовому заляганні сіль залягає на глибинах 1000–1500 м, то в діпірах часто виходить на денну поверхню (рис. 2). На таких ділянках розвивається соляний карст.

У Солотвинській улоговині простежуються три смуги розвитку солянокупольних структур: північно-східна (з малоамплітудними соляними підняттями Новоселицьким та Ганицьким), центральна (простежується по лінії Данилово-

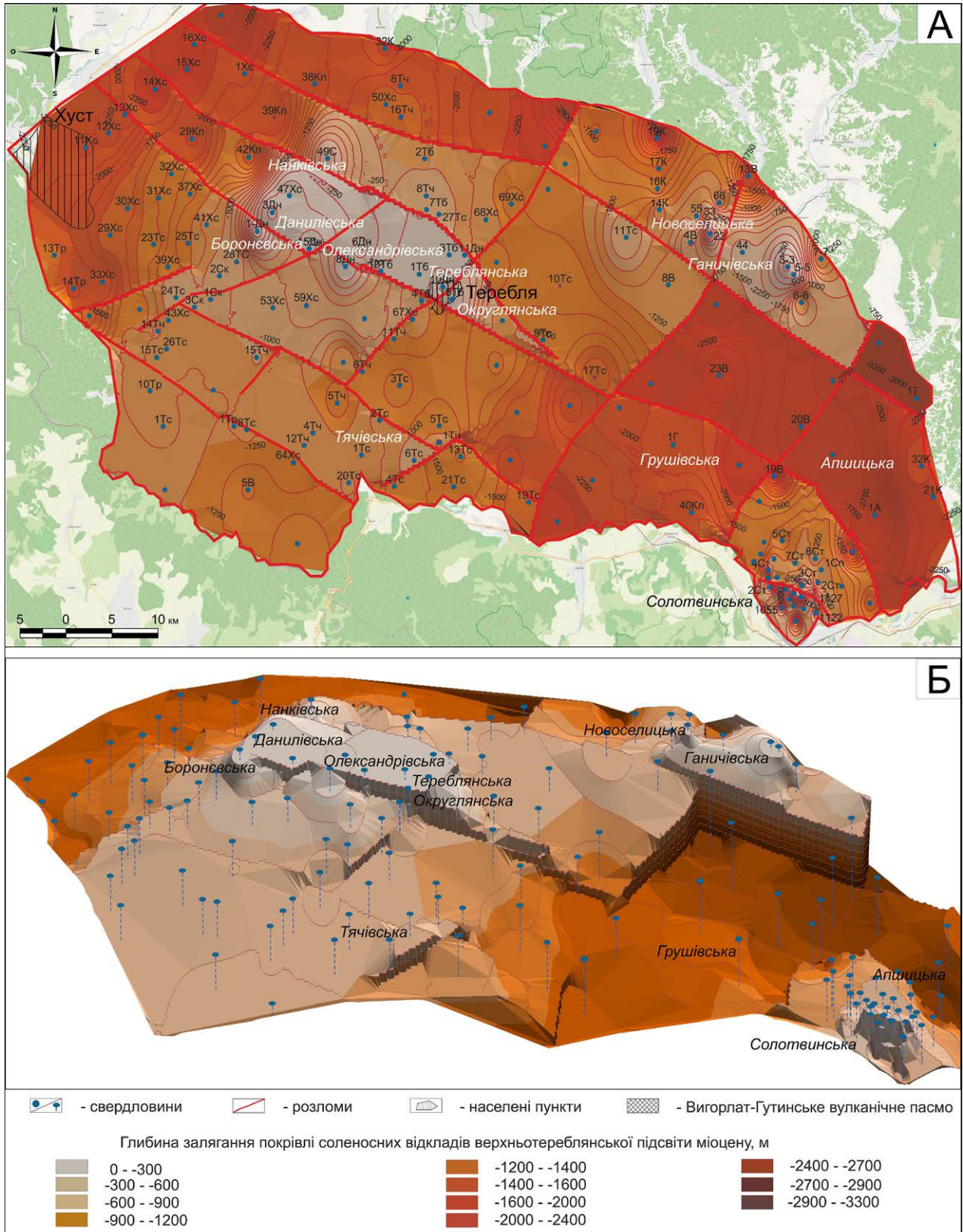


Рис. 2. А – Модель покрівлі верхньотереблянської підсвіти Солотвинської улоговини Закарпатського прогину; Б – 3-Д візуалізація цієї моделі.

Fig. 2. A. – Model of the depth of the Upper Tereblyan subformation of the Sototvyno basin of the Transcarpathian Trough; B – 3-D visualization of this model.

Теребля-Терново-Солотвин) та південно-західна (з куполоподібними та валоподібними соляними структурами: Сокирницькою, Стеблівською, Тячевською та Грушевською) (Удич, 1991). Перша з них, що простягається вздовж північно-східного борту Солотвинської западини, представлена підняттями діапирового та криптодіапирового типів; у підсольовому фундаменті цій групі структур відповідає зона піднять. У плані соляні структури мають овальну форму з північно-західним простяганням та кулісоподібним розташуванням. Мінімальні глибини залягання склепінь — 200–600 м (рис. 2). На південний схід цю групу структур продовжують відкриті соляні тіла, які у рельєфі представлені округлими западинами.

Центральна зона структур розташована у найбільш зануреній частині Солотвинської западини та об'єднує найбільші брахіантиклінальні підняття району. Соляні масиви цих структур у вигляді валоподібних та штокоподібних структур проникають у шари порід, що залягають вище.

До південно-західної зони, що простягається вздовж південного борту Солотвинської западини, належать куполоподібні і валоподібні структури; глибина залягання їх склепінь складає від 500–600 до 1000 м (рис. 2). Вони розділені пологими зануреннями.

Нижче наводиться характеристика окремих солянокупольних структур.

Боронєвська структура розташована в Хустському районі Закарпатської області. Починаючи 1771 по 1846 рр. на родовищі здійснювалася розробка кам'яної солі (рис. 3). Глибина експлуатаційної шахти складала близько 100 м. Родовище приурочене до західної частини Боронєвсько-Тереблянської брахіантиклінальної складки, що трасується виходами на денну поверхню дацитових туфів (Іванов, 1948). Соляний поклад являє собою складку діапирового типу. Ядро складки складено кам'яною сіллю верхньотереблянської підсвіти. Кам'яна сіль перекрита в ядрі штоку шаром сірої глини з включеннями гіпсу потужністю 45 м. На контакті соляного тіла

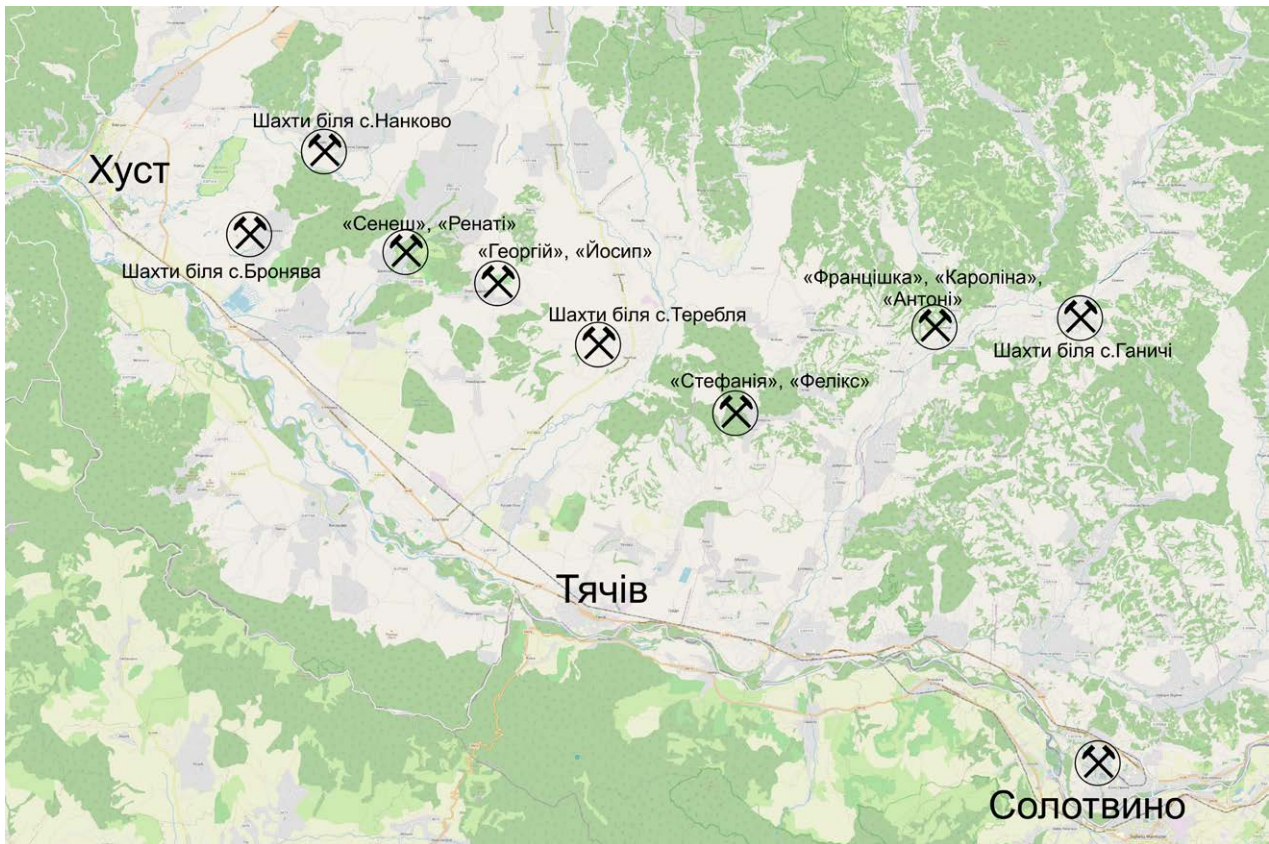


Рис. 3. Схема розміщення відпрацьованих соляних шахт в межах Солотвинської западини Закарпатського прогину.

Fig. 3. Scheme of placement of spent salt mines within the Solotvyno basin of the Transcarpathian Trough.

і вміщуючих порід спостерігається зона брекчій з уламками глинистих порід, цементованих зернистою кам'яною сіллю. Ширина виходу соленосних порід досягає 400 м.

Нанківська структура розташована у Хустському районі Закарпатської області. На початку XIX ст. в районі поселення Нанково було закладено дві шахти з видобутку кам'яної солі (рис. 3). На цей час дані про хімічні аналізи солі відсутні. Структура складена соленосними породами верхньотереблянської підсвіти, що виходять на поверхню в ядрі Нанківської антиклінальної складки, витягнутої на 10 км. На відкладах тереблянської світи залягають сірі глини («палаг»). Крила структури утворені породами солотвинської світи. Кут нахилу південного крила досягає 80° , північного — 50° (Іванов, 1948). Вздовж проходить тектонічний розлом.

Данилівська структура розташована в Тячівському районі Закарпатської області. Наприкінці XVIII — початку XIX ст. на північний захід від с. Данилово існувало дві копальні з видобутку кам'яної солі — «Сенеш» і «Ренаті» (рис. 3). Дані про шахту «Сенеш» не збереглися. Шахта «Ренаті» була закладена у 1810 р. Покрівля солі викрита на глибині від 58 до 69 м. Глибина розробки сягала 100 м. Зараз на місці колишніх солерудників у результаті обвалення шахт утворилося кілька озер із солоною водою (Васильєв, 1957, Васильєв, Керасташовець, 1957). У 1949–1950 рр. виконано буріння свердловин глибиною понад 500 м. Пробуреними свердловинами на різних глибинах розкрита кам'яна сіль, що залягає в ядрі складки, вись якої простежується на 10 км.

Олександрівська структура розташована в Тячівському районі Закарпатської області. Видобуток кам'яної солі підземним способом на Олександрівському родовищі проводився у 1745–1779 рр. та у 1806–1832 рр. На родовищі було пройдено 5 експлуатаційних шахт, але найбільше даних збереглося лише про шахти «Георгій» та «Йосип» (рис. 3). Покрівля соленосної товщі в шахті «Георгій» була розкрита на глибині 20,3–30,0 м. За якістю сіль відповідала вимогам того часу. Розкриті шахтами шари кам'яної солі мали близьке до широтного простягання і майже вертикальне падіння. На цей час усі шахти затоплені. У 1949–1950 рр. на родовищі проводилося буріння свердловини глибиною 530 м, яка не пройшла всю соленосну товщу. У геоструктурному відношенні Олександрівське родовище являє собою антиклінальну діапірову

структуру з ядром протикання з солі. В склепінні структури залягають породи тереблянської світи (ширина смуги соляних порід до 300–400 м), що перекриті малопотужним шаром сірої глини. Крила структури складені породами солотвинської світи. Кам'яна сіль родовища сіра, грубозерниста, щільна з домішкою глинистого матеріалу від 4% і більше (Іванов, 1948). Зустрічаються пласти потужністю до 1 м чистої білої кам'яної солі.

Тереблянська структура розташована в Тячівському районі Закарпатської області. Видобуток кам'яної солі шахтним способом на Тереблянському родовищі здійснювався в першій половині XIX ст. (рис. 3). У 1949–1950 рр. проведено буріння на площі Данилово-Тереблянської структури 17 свердловин середньою глибиною 500 м. В результаті виконаних робіт оконтурено поклади кам'яної солі на площі 5,5 км². Пробурені свердловини не перетнули всю соляну товщу. Глибина до покрівлі солі коливається від 12,1 до 455,5 м. Тереблянське родовище кам'яної солі розташоване в південно-західній частині Данилово-Тереблянської структури — брахіантиклінальної діапірової складки, ускладненої мікроскладками другого та вищих порядків. Структура витягнута майже в широтному напрямку з пологим і рівномірним зануренням порід на північний схід та крутим — на південь, південний захід і схід. У склепінні і на крилах структури залягають породи солотвинської світи, ядро складене сіллю тереблянської світи. На контакті солі з вміщуючими породами спостерігається розвиток значної зони брекчій, де уламки порід цементуються зернистою кам'яною сіллю. Контур соляного тіла, що виходить безпосередньо під четвертинними відкладами, має еліптичний обрис. Солянокупольна структура складена переважно кам'яною сіллю з прошарками сірих соленосних глин потужністю від декількох сантиметрів до 2–7 м. Потужність пластів чистої кам'яної солі, що залягають серед основної маси глинистої кам'яної солі, коливається від 1 до 5 м.

Округлянська структура розташована в Тячівському районі Закарпатської області. Дані про початок експлуатації родовища відносяться до XVIII–XIX ст. (рис. 3). У 1773 р. в районі було пройдено шахту «Стефанія», що розкрила кам'яну сіль на глибині 16 м. У 1775 р. було пройдено шахту «Фелікс», яка на глибині 20 м розкрила чисту кристалічну кам'яну сіль. Вміст NaCl в солі становив від 96 до 98%. У 1802 р. на південний захід від шахти «Стефанія» було закладено шахту

«Францішек» глибиною близько 120 м. У вибійній частині шахти «Францішек» на північ і південь від стовбура було пройдено по солі штреки довжиною до 50 м. З них видобувалася сіль у вигляді блоків і шматків. Наразі час всі шахти затоплені. На їх місці утворилися водойми, заповнені солоною водою, з насиченими по NaCl розсолами на дні. Округлянська структура представляє собою брахіантиклінальну складку, у склепінні якої на глибині 20 м під соленосними глинами залягає кам'яна сіль тереблянської світи. Крила структури складені глинами і пісковиками солотвинської світи. Кут падіння порід коливається від 60° у центрі структури до 20° у периферичній її частині. З південного сходу на північний захід по осьовій частині структури проходить тектонічний розлом. З півночі родовище обмежене скидом.

Нересницька структура розташована в Тячівському районі Закарпатської області, в 23 км на північний схід від районного центру — м. Тячів. Видобуток кам'яної солі шахтним способом на Нересницькому родовищі відомий ще з XIX ст. (рис. 3). У 1818 р. тут було закладено шахту «Кароліна», а в 1821 р — «Антонін». Шахта «Кароліна» пройдена до глибини 80 м. Глибина шахт перевищувала 100 м. Покрівля соляної товщі викрита шахтами на глибині 15–20 м. Внаслідок прориву підземних вод у 1832 р. шахта «Кароліна» була затоплена, після чого між нею і шахтою «Антонін» утворився провал. У 1856 р. експлуатація родовища гірничим способом припинилася. Після цього тривалий час на Нересницькій структурі проводилася виварка солі з розсолів, що добуваються із спеціально пройдених колодязів. Родовище приурочене до однойменної солянокупольної структури. З півночі родовище оточено височинами, складеними базальними конгломератами, що представлені уламками мармуроподібних вапняків. Над склепінною частиною соляного штока залягають глина, галечники, пісковики, потужністю до 18 м. Периферична частина — складена чистою, а в центральній частині глинистою кам'яною сіллю, соленосними глинами, мергелистими породами з прожилками солі, гіпсу і ангідриту. Пласти кам'яної солі мають північно-західне простягання з кутами падіння $38\text{--}56^\circ$.

Ганичівська («Соляна») структура розташована в Тячівському районі Закарпатської області, у 4 км від с. Ганичі. Видобуток кам'яної солі на структурі проводився в період з 1800 по 1835 рр (рис. 3). Видобута шахтою кам'яна сіль не відрізнялася високою якістю, зважаючи на забруднення її

глинистим матеріалом. У зв'язку з проривом ґрунтових вод шахта була затоплена, після чого в Соляному була організована виварка харчової солі з розсолів джерел і колодязів.

Тячівська структура розташована на півночі районного центру Тячів, Закарпатської області. Соляний масив розкритий на глибині 320 м. Соляна товща представлена кам'яною сіллю із прошарками глинисто-галітових порід і засолених глин.

Солотвинська структура розташована в Тячівському районі Закарпатської області, у 23 км на схід-південний схід від районного центру Тячево, у межах першої і другої терас правого берега р. Тиса. Солотвинське родовище кам'яної солі — одне з найбільших в Україні. Останнім часом воно набуло стратегічного значення для країни з огляду на втрату всіх родовищ соляних ресурсів внаслідок військової агресії росії на території України (анексія Криму у 2014 р. та захоплення єдиного родовищ кам'яної солі — Артемівського у 2022 р.).

У 80–90 рр. минулого століття сіль Солотвинського родовища не тільки повністю задовольняла попит Закарпатської області, але й вивозилася за межі України (Угорщина, Чехословаччина, Білорусь, Литва, Латвія, Естонія, Росія).

Систематичну розробку солі розпочато з 1778 р. Більшість шахт закладено у центральній частині родовища. Всього в межах Солотвинської родовища пройдено 9 шахт. Нижче наводяться короткі відомості про видобуток солі на них (табл. 1) (Шехунова, 2020).

З середини 1990-х рр. на родовищі почали прогресувати гідрогеологічні та інженерно-геологічні проблеми, які призвели до небезпечної екологічної ситуації техногенного характеру. На площі, яка прилягає до старих шахт і в місцях більш інтенсивного руху ґрунтових вод, утворились карстові воронки (Шехунова та ін., 2015).

Розвиток карстових процесів та порушення гідрогеологічного режиму призвели до катастрофічних проривів підземних вод до шахт №№ 8 і 9 солерудника з послідовним їх затопленням, що спричинило зупинення видобування кам'яної солі і функціонування підземних відділень спецеосанаторію Української алергологічної лікарні Міністерства охорони здоров'я. Частково деформації поверхні пов'язані з незадовільним технічним станом водовідвідних штолень (Селянчин,

Таблиця 1. Шахти з видобутку кам'яної солі в межах Солотвинського родовища (Шехунова, 2020)

Table 1. Rock salt mines within the Solotvyno deposit (Shekhunova, 2020)

Назва	Роки експлуатації	Рік ліквідації	Кількість експлуатаційних горизонтів	Абсолютна відмітка підповерхні, м	Кількість камер	Розмір камери, м			Ширина міжкамерних ціликів, м	Висота стеліни, м
						довжина	ширина	висота		
«Христина», № 1	1778-1781					Геологічних матеріалів та експлуатаційних даних не збереглося				
«Альберт», №2	1781-1789	1870	1	+200	1	70	8-12	—		
«Кунігунда», № 3	1790-1905	1908	1	+160	1	380-390	16-32	125-130		
«Микола», № 4	1799-1905	1908								
«Йосиф», № 5	1804-1850	1895	2	—	—	100-105	30	—		8-20
«Старий Людвіг», № 6	1804-1810	1930	1	+207	1	35	35	18		
Шахта №7 («Франтішек», «Хрущова»)	1809-1953	1955	2 + 1*	+129	8	45-120	35	110	10-30	12-32
	1923-1953			+75,8	8	45	13	40	20-40	12
Шахта №8 («Новий Людвіг», «Сталіна»)	1886-2006	2007	4 + 1*	+162,4	8	50	25	39-40	35-45	40-60
				+100	20	45-50	25	60	30-35	20
				-23	20	40-130	20	65	30-35	20
				-81	20	40-100	20	65	30-35	20
Шахта №9	1963-2008	2010	1	-81	18	55-315	15-20	68	30-35	

* Запроєктовані, але не побудовані експлуатаційні горизонти

1995). На сьогоднішній день родовище не експлуатується.

Північна ділянка Солотвинського родовища

Ділянка розташована на північному фланзі Солотвинського купола. В межах ділянки купольне залягання соляної товщі змінюється на пласто-подібне, зі зменшенням потужності від 1200 м в покрівлі до 200–300 м. При цьому кут падіння контакту солі з вміщуючими породами зменшується до 20–30°.

В межах ділянки пласт кам'яної солі прошарком аргіліту потужністю 4,5–80 м розділений на 2 пачки: нижню і верхню. Потужність верхньої пачки коливається в межах 208–409,5 м, глибина залягання її покрівлі від 920,2 м до 1105,3 м. Потужність нижньої пачки 57,8–97,8 м (Елизаров, Елизарова, 1975).

Гідрогеологічні умови

Гідрогеологічні умови в Закарпатському солонному басейні значно впливають на стан збереження солоних товщ, а відтак і на перспективи їх залучення в економічну діяльність. Техногенні порушення гідрогеологічних умов часом призводять до катастрофічних наслідків, як це відбулося на Солотвинській структурі. Практично вся історія освоєння ресурсів солоних формацій свідчить про закінчення експлуатації виробок через затоплення (Шехунова, 2020).

В Закарпатському прогині встановлено два артезіанських басейни — Чоп-Мукачівський і Верхньотисенський. В їх розрізі є ряд водоносних горизонтів, короткий огляд яких приводиться нижче.

У Чоп-Мукачівському басейні основний водоносний горизонт приурочений до потужної товщі

валунно-галечникових відкладів у долинах рік Тиси, Латориці, Ужу, Боржави. Потужність водовмісних порід може досягати декількох десятків метрів. Глибина залягання покрівлі водоносного горизонту 1–7 м, до передгір'їв збільшується до 20 м. Найбільші дебіти визначено в центральній частині басейну. Припливи води в свердловинах — 6–12 л/сек. Водоносний комплекс приурочений до пліоцен-четвертинних відкладів, потужність яких змінюється від 70 до 250–300 м. У складі порід цієї товщі переважають валунно-галькові утворення, пісковики, ефузиви, туфи та ін. Води прісні, дебіти свердловин 10–25 л/с при зниженні рівня на 5–10 м. Залягаючі нижче сарматські і тортонські відклади менш обводнені, дебіти становлять 0,1–4 л/с. Ця товща містить ряд гідравлічно роз'єднаних водоносних горизонтів, що занурюються в напрямку центральної частини басейну.

У Солотвинському артезіанському басейні, що характеризується розвитком відкритих соляних діапирових структур, на збереженість соляних товщ можуть впливати води наймолодших водоносних горизонтів (Удич, 1990). Водоносний горизонт у сучасних алювіальних відкладах приурочений до гравійно-галькових утворень із домішкою піску в заплавно-руслівих частинах долини. Глибина його залягання — 0,2–6,0 м. Водонасиченість порід звичайно невисока: дебіти свердловин 0,6–3,3 л/с, але в деяких випадках вони можуть сильно підвищуватися, набуваючи катастрофічного характеру (Солотвинська структура). Мінералізація вод 0,3–0,5 г/л. Переважають гідрокарбонатно-кальцієві й кальцієво-магнієві води, іноді зустрічаються сульфатно — кальцієво-натрієві. Підземні води, приурочені до шарів і ліنز

озерно-алювіальних пісків нижньої частини розрізу другої надзаплавної тераси, мають напірний характер і формують систему гідравлічно пов'язаних між собою водоносних горизонтів, що залягають на глибинах від 10 до 60 м. Потужність водоносного горизонту 8–15 м. Дебіти свердловин змінюються від 0,02 до 11,5 л/сек. Переважають гідрокарбонатно-кальцієві й кальцієво-магнієві води з мінералізацією 0, 1–0,5 г/л.

Водоносні комплекси, що залягають нижче — пліоценовий, сарматський, тортонський — характеризуються незначною водонасиченістю (дебіти до 1 л/сек). На глибинах більше 100 м мінералізація підземних вод становить 20–30 г/л, а на контактах із соляними діапірами зростає до 300–350 г/л. За складом води натрієві і натрієво-кальцієві, містять підвищені кількості йоду і бромю. В складі розчинних газів переважає метан (до 97% загального об'єму); зустрічаються азотно-метанові і вуглекисло-азотно-метанові.

ВИСНОВКИ

Таким чином, для побудови та аналізу соленосної формації необхідно враховувати розмір території, умови залягання соленосної товщі і складність глибинної будови. Ступінь достовірності отриманих результатів залежить від якості вихідних даних і в подальшому може бути змінена у міру внесення додаткової інформації. В цілому, побудовані моделі відповідають геологічним уявленням про дану територію, а також можуть слугувати апріорною інформацією для наступних робіт.

REFERENCES

Belousov M. M., 1951. Report on crelius drilling in the Danilovo-Tereblya area of Zakarpatska oblast of the USSR in 1949–50. SRDE «Geoinform Ukraine». Inv. No 10028/2. Vol. 1–2. (In Russian).

Bokun A. N., 1981. Salt structure Solotvyno depression. Kyiv: Naukova Dumka. 136 p. (In Russian).

Vasilyev I. N., 1957. Report. Exploration of the Solotvyno rock salt deposit in 1954–1956. SRDE «Geoinform Ukraine». Inv. No 18253/1. Vol. 1. 258 p. (In Russian).

Vasilyev I. N., Kerastashovets I. P., 1957. Report on geological survey activities at Alexandrovskoye rock salt deposit in 1956–57 (Tyachiv and Khust districts of Zakarpatska oblast). SRDE «Geoinform Ukraine». Inv. No 22902/2. Vol. 1–2. (In Russian).

Elizarov A. F., Elizarova N. N., 1955. Report. Solotvyno rock salt deposit (Geological exploration in 1948–1949). SRDE «Geoinform Ukraine». Inv. No 14676. Vol. 1. 71 p. (In Russian).

Враховуючи теперішню ситуацію з видобутком кам'яної солі в Україні (єдине велике родовище кам'яної солі знаходиться у зоні активних бойових дій), тому, саме родовища Закарпатського прогину можуть перекрити дефіцит солі.

В межах Закарпатського внутрішнього прогину встановлено низку структур, перспективних для проведення детальних пошукових / розвідувальних робіт на кам'яну сіль для подальшої експлуатації. До перспективних відносяться солянокупольні структури Солотвинської западини (Данилово-Олександрово-Тереблінський, Округлянський, Бороневський та ін.) та Північна ділянка Солотвинського родовища, які залягають на доступних для розробки глибинах, зокрема методом підземного розмиву.

Також, виходячи з сучасних тенденцій комплексного використання природних ресурсів та враховуючи розвинуту газотранспортну мережу у Закарпатській області, перспективним є підхід до видобутку кам'яної солі методом підземного вилуговування з наступним використанням створених камер для зберігання вуглеводнів для підвищення надійності транзиту газу (діоксиду карбону) в європейському напрямку або іншого цільового призначення.

Побудови використані для виконання міжнародного проєкту GSEU «Geological Service for Europe / Геологічна служба Європи» (01.09.2022–31.08.2026).

Белоусов М. М. Отчет о крелиусном бурении на площади Данилово-Теребля Закарпатской области УССР в 1949–50 гг. Київ, 1951. ДНВП «Геоінформ України», інв. № 10028/2. Кн. 1–2.

Бокун А. Н. Соляные структуры Солотвинской впадины. Киев: Наук. думка, 1981. 136 с.

Васильев И. Н. Отчет о детальной разведке, проведенной на Солотвинском месторождении каменной соли в Закарпатской области УССР в 1954–1956 гг. Киев, 1957. ДНВП «Геоінформ України», інв. № 18253/1. Кн. 1. 258 с.

Васильев И. Н., Керасташовец И. П. Отчет о геологоразведочных работах на Александровском месторождении каменной соли за 1956–57 гг. (Тячевский и Хустский районы Закарпатской области). Київ, 1957. ДНВП «Геоінформ України», інв. № 22902/2. Кн. 1–2.

Елизаров А. Ф., Елизарова Н. Н. Солотвинское месторождение каменной соли. (Результаты детальной разведки 1948–1949 гг.). Киев, 1955. ДНВП «Геоінформ України», інв. № 14676. Кн. 1. 71 с.

- Ivanov A. A., 1948. Salt occurrences in Zakarpatska oblast and their geological setting. Collection of the All-Union Scientific Research Geological Institute. Hosgeolysdat. Vol. 6. Pp.102–111. (In Russian).
- Ivanov A. A., Kaplan A. A., Henkina R. S., 1947. Report on geological studies within the belt of salt-bearing rocks and salt occurrences in the Transcarpathian Ukraine. SRDE «Geoinform Ukraine». Inv. No 5540/9. Vol. 3. 76 p. (In Russian).
- Ivanov A. A., Korenevskiy S. M., 1947. Salt basin of Zakarpatska oblast and its salt deposits. Final report on the topic: "Study of the salt bearing capacity of the Zakarpatska oblast of the USSR". SRDE «Geoinform Ukraine». Inv. No 6374. Vol. 1. 186 p. (In Russian).
- Ivanchenko A. I., Sabov Yu. V., 1967. Report. Geological exploration of the Sotolvyno rock salt deposit in 1966–1967 (follow-up exploration operational field mine No 8). SRDE «Geoinform Ukraine». Inv. No 28255. Vol. 1. 212 p. (In Russian).
- Kityk W. I., Bokun A. N., Panov G. M., Slivko E. P., Schaydietskaya W. C., 1983. Halogenic formations of Ukraine: Transcarpathian through. Kyiv: Naukova Dumka. 168 p. (In Russian).
- Korenevskiy S. M., 1959. Geological characteristics of the salt structures of the Verkhnetissenskaya Depression. Proceedings of the All-Union Scientific Research Institute of Halurgy. Lvov: Nedra. Vol. 35. Pp.105–130. (In Russian).
- Lobasov O. P., Syumar N. P., Shehunova S. B., 2010. Developing and analysis of Dnipro-Donets depression Lower Permian salt formation lithological model by means of GIS, Collection of Scientific works of the Institute of geological sciences NAS of Ukraine, vol. 3, pp. 294–305. (In Ukrainian).
- Lyzanets A., Babaev V., Koval A., 2003. Report on scientific and research activities: "Identifying areas of hydrocarbon prospecting in the Transcarpathian trough based on landscape-geomorphological and structural-tectonic criteria". Kharkiv: Ukrainian Scientific Research Institute of Natural Gases. Vol. 1. 172 p. (In Ukrainian).
- Selyanchin M. I., 1995. Report. Additional exploration deep horizons of mine № 8 Sotolvyno rock salt deposit in 1992–1995. SRDE «Geoinform Ukraine». Inv. No 55852. Vol. 1. 328 p. (In Ukrainian).
- Syumar N. P., 2011. GIS Methodology used for developing and analysis of the halotectokinetic type saliferous formations geological features. Collection of Scientific works of the Institute of geological sciences NAS of Ukraine. Vol. 4. Pp. 160–164. (In Ukrainian). DOI: <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2011.153040>.
- Udych N. F., 1991. Summary of drilling data and direction of further work on the Borislavsko-Pokutska zone of the Precarpathian Trough and the Transcarpathian Trough. SRDE «Geoinform Ukraine». Inv. No 52082. Vol. 1–2. (In Russian).
- Udych N. F., 1990. Results of scientific processing of drilling materials of Apshitskaya parametric well No.1 of the Sotolvinskaya depression of the Zakarpatska oblast, carried out in the Zakarpatska oblast of the USSR during 1987–1989. SRDE «Geoinform Ukraine». Inv. No 52784. Vol. 1. 103 p. (In Russian).
- Иванов А. А. Солепроявления в Закарпатской области и их геологические условия. Сборник Всесоюзного научно-исследовательского геологического института. Т. 6. Госгеолыздат, 1948. С. 102–111.
- Иванов А. А., Каплан А. А., Генкина Р. З. Отчет о геологических исследованиях в пределах полосы солевмещающих пород и солепроявлений Закарпатской Украины. Киев, 1947. ДНВП «Геоинформ України», інв. № 5540/9. Т. 3, Вып. 2. 76 с.
- Иванов А. А., Корневский С. М. Соленосный бассейн Закарпатской области и его соляные месторождения. Окончательный отчет по теме: «Изучение соленосности Закарпатской области УССР». Київ, 1947. ДНВП «Геоинформ України», інв. № 6374. Кн. 1. 186 с.
- Иванченко А. И., Сабов Ю. В. Отчет о геологоразведочных работах на Солотвинском месторождении каменной соли, проведенных в 1966–1967 гг. (доразведка эксплуатационного поля шахты № 8). Киев, 1967. ДНВП «Геоинформ України», інв. № 28255. Кн. 1. 212 с.
- Китык В. И. Бокун А. Н., Панов Г. М., Сливко Е. П., Шайдецкая В. С. Галогенные формации Украины: Закарпатский прогин. Киев: Наукова думка, 1983. 168 с.
- Корневский С. М. Геологическая характеристика соляных структур Верхнетиссенской впадины. Труды ВНИПИГ. Львов: Недра, 1959. Вып. 35. С. 105–130.
- Лизанець А., Бабаєв В., Коваль А. Звіт про науково-дослідну роботу: «Визначення напрямків пошуків вуглеводнів у Закарпатському прогині за ландшафтно-геоморфологічними та структурно-тектонічними критеріями». Харків, 2003. УкрНДІгаз. Кн. 1. 172 с.
- Лобасов О. П., Сюмар Н. П., Шехунова С. Б. Побудова та аналіз літологічної моделі нижньопермської соленосної формації Дніпровсько-Донецької западини засобами ГІС. Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України. 2010. Вип. 3. С. 294–305.
- Селянчин М. І. Звіт про результати дорозвідки кам'яної солі глибоких горизонтів в межах поля шахти № 8 Солотвинського родовища за 1992–1995 рр. Тячівський р-н Закарпатської області. Берегово, 1995. ДНВП «Геоинформ України», інв. № 55852. Кн. 1. 328 с.
- Сюмар Н. П. Методика застосування ArcView для побудови та аналізу соленосної формації галотектокінетичного типу. Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України. Київ, 2011. Вип. 4. С. 160–164. DOI: <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2011.153040>.
- Удич Н. Ф. Обобщение материалов глубокого бурения и направление дальнейших работ по Бориславско-Покутской зоне Предкарпатского прогиба и Закарпатскому прогину. Киев, 1991. ДНВП «Геоинформ України», інв. № 52082. Кн. 1, 2.
- Удич Н. Ф. Результаты научной обработки материалов бурения Апишской параметрической скважины № 1 Солотвинской впадины Закарпатского прогиба, проведенного в Закарпатской области УССР в 1987–1989 г.г. (Тячевский район Закарпатской области УССР). Киев, 1990. ДНВП «Геоинформ України», інв. № 52784. Кн. 1. 103 с.

Shekhunova S. B., Aleksieienkova M. V., Stadnichenko S. M., Siumar N. P., 2015. The Integrated geological model of Solotvyno structure as a tool to assess geoecological sustainability of Solotvyno rock salt deposit. Collection of Scientific works of the Institute of geological sciences NAS of Ukraine. Vol. 8. Pp. 233–250. (In Ukrainian). DOI: <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2015.146791>.

Shekhunova S. B., 2020. Saliferous formations: patterns of lithogenesis and problems of usage. Kyiv: Naukova Dumka. 333 p. (In Ukrainian).

Шехунова С. Б., Алексєєнкова М. В., Стадніченко С. М., Сюмар Н. П. Інтегральна геологічна модель Солотвинської структури як інструмент оцінки геоекологічного стану Солотвинського родовища кам'яної солі. *Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України*. Київ, 2015. Т. 8. С. 233–250. DOI: <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2015.146791>.

Шехунова С. Б. Соленосні формації: закономірності літогенезу та проблеми використання. Київ: Наукова думка, 2020. 333 с.

Manuscript received September 9, 2023;
revision accepted November 25, 2023.

Інститут геологічних наук НАН України,
Київ, Україна