

ЛІТОЛОГІЧНА МОДЕЛЬ НАДСОЛЬОВОГО КОМПЛЕКСУ СОЛОТВІНСЬКОЇ СОЛЯНОКУПОЛЬНОЇ СТРУКТУРИ

THE LITHOLOGICAL MODEL OF THE SUPRASALT COMPLEX OF THE SOLOTVYNO SALT DOME STRUCTURE

С. Б. Шехунова, Н. П. Сюмар, С. М. Стадніченко, М. В. Алексєєнкова
Stella B. Shekhunova, Nataliia P. Siumar, Svitlana M. Stadnichenko, Maryna V. Aleksieienkova

Institute of Geological Sciences, NAS of Ukraine, 55-b O. Honchara Str., Kyiv, Ukraine, 01601

Солотвинське родовище кам'яної солі до недавнього часу було одним з найбільших в Україні. Але з середини 1990-х років на родовищі почали відбуватися процеси, що призвели до небезпечної екологічної ситуації техногенного характеру. Зокрема, неконтрольований розвиток соляного карсту, забруднення поверхневих та підземних вод, що створюють загрозу транскордонного забруднення р. Тиса. Для оцінювання екологічного стану та подальшого моніторингу розвитку небезпечних геологічних процесів у межах Солотвинського родовища кам'яної солі була розроблена комплексна літологічна модель солянокупольної структури. В статті висвітлено результати аналізу геологорозвідувальних робіт, що супроводжували освоєння ресурсів кам'яної солі Солотвинської солянокупольної структури; накопичено, структуровано та оброблено багаторівневу різномасштабну геологічну інформацію та створено ієрархічну базу даних, що була використана для розробки елементів літологічної моделі Солотвинської структури (карти товщин окремих літологічних різновидів покривних четвертинних відкладів). Побудови виконувалися з використанням ГІС-додатків за розробленими, адаптованими та удосконаленими авторськими методиками. Аналіз карт товщин окремих літологічних різновидів свідчить про недостатність сучасної геологічної інформації про стан геологічного середовища не тільки для забезпечення достовірності модельних побудов для всієї Солотвинської солянокупольної структури, а й для визначення критичних параметрів геологічного середовища.

Ключові слова: Солотвинське родовище кам'яної солі, літологічна модель, тектоніка, гідрогеологія, «палаг».

Solotvyno rock salt deposit is one of the large deposits in Ukraine. From the mid-90s at the deposit started to accumulate problems that have led to a dangerous environmental technogenic situation that has acquired the emergency status on the state level in 2010. In particular, destroying of the landscape, its degradation as a result of uncontrolled salt karst development, contamination of surface and underground water, threaten the cross-border contamination of the Tisza River. Definition of risks and management decisions to minimize the effects emergency situation should be based on an analysis of its causes. In the article the results of the analysis of geological and exploration activities that accompanied the development of Solotvyno salt dome structure resources; compiled, structured and processed layered multiscale geological information. Hierarchical database has been created and used to develop elements of the Solotvyno structure integrated geological model first iteration (the model of the earth's surface, structure and tectonic of salt dome, hydrogeological and technological component of the geological environment). Constructions were performed using GIS applications, designed, adapted and improved authors methodic. Solotvyno structure integrated digital geological model has been proposed as a tool for evaluation of geoeological state determination measures to restore equilibrium in the geological environment analysis and evaluation of project technical decisions on the use of salt resources. Analysis of the first iteration model indicates the absence of the modern geological information on the geological environment № only for ensure the accuracy of model constructions for all Solotvyno salt dome structure, but also to determine the critical parameters of the geological environment.

Keywords: Solotvyno rock salt deposit, lithological model, salt tectonics, hydrogeology, «palag».

Цитування: Шехунова С. Б., Сюмар Н. П., Стадніченко С. М., Алексєєнкова М. В. Літологічна модель надсольового комплексу Солотвинської солянокупольної структури. Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України. 2021. Т. 14, вип. 2. С. 51–61. <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2021.245822>.

Citation: Shekhunova S. B., Siumar N. P., Stadnichenko S. M., Aleksieienkova M. V., 2021. The Lithological Model of the suprasalt Complex of the Solotvyno Salt Dome Structure. Collection of scientific works of the Institute of Geological Sciences of NAS of Ukraine, Vol. 14 (2). Pp. 51–61. <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2021.245822> (In Ukrainian).

ВСТУП

Солотвинська солянокупольна структура розташована в Тячівському районі Закарпатської області та містить одноіменне родовище кам'яної солі.

Солотвинське родовище експлуатується з часів Римської імперії конусоподібними ямами, які збереглися на західній околиці родовища. Розробка родовища підземним способом (шахтами) розпочата у другій половині XVIII ст. Перші неглибокі шахти у регіоні почали закладати з 1745 р. (с. Александрівка, шахта «Георгій») (Китык и др., 1983). Назва містечка — Salzgruben (німецькою *salz* — сіль), Slatina (румунською), Faluszlatina-Aknaszlatina (угорською), Selo Slatina + Slatinske Doly (словацькою) — різними мовами містить корінь «сіль». Перша шахта «Христина» в Солотвино закладена у 1777 р. Систематичну розробку солі родовища розпочато з 1778 р. Більшість шахт закладено у центральній частині родовища. Всього на родовищі пройдено 9 шахт.

До 2008 р. експлуатація родовища відбувалася двома шахтами: № 8 потужністю 480 тис. т солі на рік та № 9 потужністю 710 тис. т. Шахти введені в дію відповідно в 1886 та 1976 рр. Перший, другий і третій горизонти шахти № 8 на даний час відпрацьовані. Експлуатаційні роботи до аварії велись на IV горизонті. Через підтоплення робочих горизонтів поверхневими водами видобування кам'яної солі на обох рудниках було припинено, а саме: на руднику № 8 — з вересня 2007 р., руднику № 9 — з червня 2007 р. Північна ділянка родовища є резервом солерудника.

Головними споживачами продукції Солотвинського родовища були харчова та хімічна промисловості України, росії, Білорусі, Молдови, держав Балтії, а також підприємства Чехії та Угорщини.

На Солотвинському родовищі, крім експлуатаційних шахт, було пройдено велику кількість водовідливних шахт, шурфів, штолень з розгалуженою сіткою підземних дренажних виробок загальною протяжністю 11 000 пог. м. На площі, яка прилягає до старих шахт, і в місцях більш інтенсивного руху ґрунтових вод утворились карстові воронки.

Для оцінювання екологічного стану та подальшого моніторингу розвитку небезпечних геологічних процесів у межах Солотвинського родовища кам'яної солі була розроблена комплексна літологічна модель солянокупольної структури.

ВИХІДНІ МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Методика побудов карт перекриваючих відкладів ґрунтується на побудові узгоджених математичних моделей границь та товщини осадової формації за значеннями окремих точок шляхом використання одного із чотирьох методів інтерполяції: IDW — обернено зважених відстаней (середньозважених значень сусідніх точок по заданому числу сусідів або в межах зазначеного радіуса), Spline (створення поверхні з мінімальною кривизною, згладжування поверхні), Тренд (підбір функції, що описує всі вхідні точки з поліномом заданого порядку методом найменших квадратів), Кригінг (багатоступінчастий підбір математичної функції для заданого числа точок або для точок у межах заданого радіуса для поширення залежностей на всі точки). В нашому випадку були використані методи IDW та Spline-апроксимації з широким використанням апріорної інформації про будову товщі. Методика започаткована і програмно реалізована спочатку в ArcView, а потім в ArcGIS (Шехунова, 2006, 2010; Сюмар, 2011, 2012). Враховуючи досвід попередніх робіт, при побудові карт були використані різноманітні джерела інформації із різним ступенем достовірності, що зводяться до таких основних типів:

- свердловини;
- контур області поширення солянокупольної структури.

Всього для побудови карт використано дані близько 450 свердловин, пробурених упродовж майже 100 років різними організаціями та буровими партіями.

Зовнішній контур поширення Солотвинської солянокупольної структури на абсолютній відмітці поверхні 0 м (значною мірою гіпотетичний) був оцифрований з геологічної карти Солотвинського родовища М 1:2000 (голов. ред. М. І. Селянчин, 1995).

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Геолого-літологічні особливості покривних четвертинних відкладів визначаються літологічним складом підстеляючих порід, геоморфологічним розташуванням та рівнем антропогенної порушеності. Відклади представлені такими (умовними) групами порід: покривними суглинками, валунно-галечниковими відкладами з піщано-глинистим заповнювачем та глиною темно-сірою з місцевою назвою «палаг». За типом відклади поділяються на алювіальні (заплавної та руслової фації) та елювіальні, так звані «глинистої шляпи».

Максимальна потужність покривних четвертинних відкладів сягає 90 м. Основні закономірності зміни товщин четвертинних порід зображені на рис. 1.

В геоморфологічному відношенні ділянка характеризується добре розвинутими річковими терасами. В межах району виділено заплава, перша та друга надзаплавні тераси р. Тиса. Геоморфологічне розташування обумовлює, передусім, загальну потужність окремих груп порід та їх внутрішню структуру.

Вся територія неглибокого залягання солянокупольної структури зазнала нерівномірного антропогенного втручання, що й обумовлює наявність ділянок з порушеною будовою (літологічним складом та співвідношенням порід).

Трансформація порового простору та гранулометричного складу порід обумовлена постійним перебігом процесів вилугування кам'яної солі.

Першими від поверхні залягають суглинки палево-жовті. Породи рівномірно поширені по

всій території та відсутні лише на ділянках техногенного втручання (цивільного будівництва і видобування валунно-галечникових відкладів) та котловин древніх боліт карстового походження (друга надзаплавна тераса, Малий та Великий Чорний Мочар). У межах проммайданчиків шахти нерівномірно перекриті насипним ґрунтом, не витриманим за складом (галька, щебінь, суглинок, пісок з різним співвідношенням) та фізико-механічними властивостями. Максимальна потужність техногенних ґрунтів приурочена до ділянок насипів та може сягати 6,0 м. Покривні палево-жовті суглинки переважно важкі, напівтверді, не засолені з вмістом гумусу у верхній частині від 2,4–3,4 до 10,8% (Солошенко, Ткачук, 1982). У вигляді лінз, не витриманих за потужністю та по простяганню, трапляються сірі різновиди суглинка твердого грудкуватого, озалізованого. Загальна потужність суглинків коливається в межах 0,3–2,0 м, у середньому 1,2 м. У котловинах Малеого та Великого Чорного Мочара поверхневі відклади

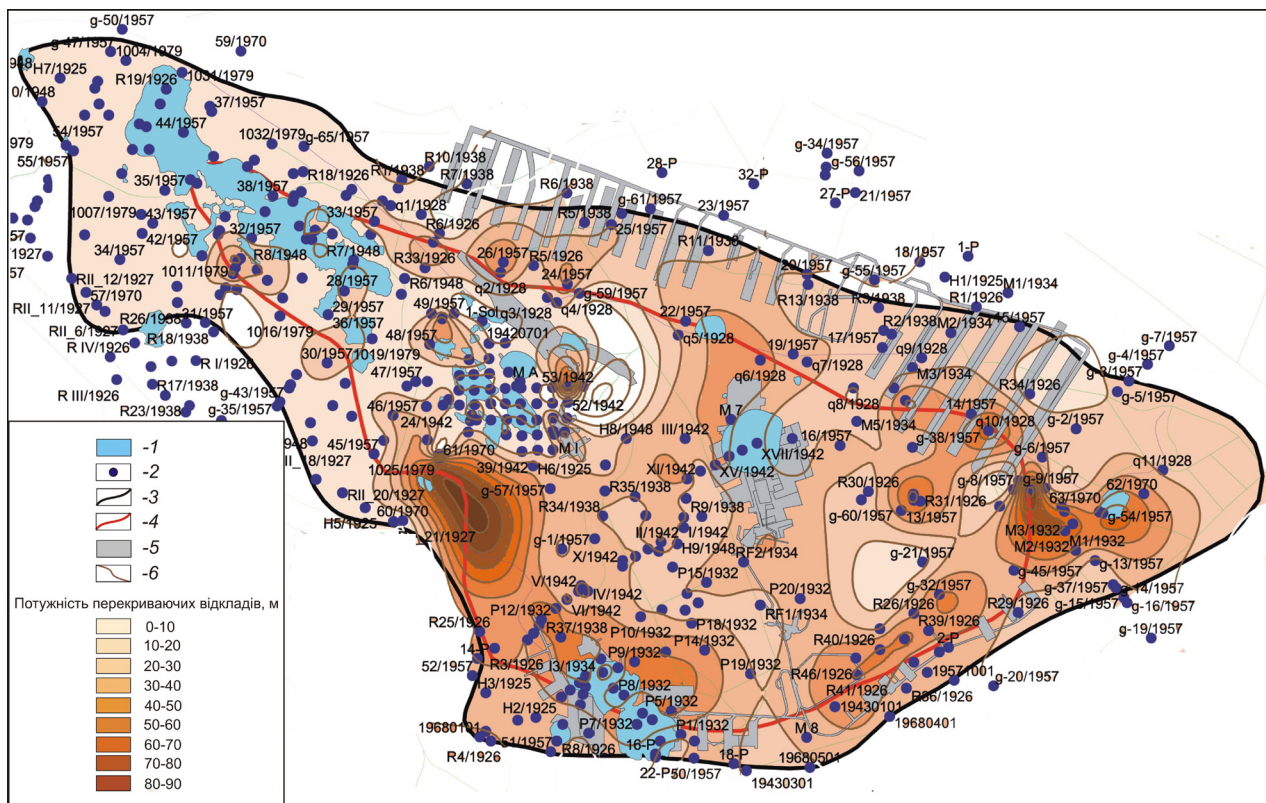


Рис. 1. Карта потужності перекриваючих порід над Солотвинською солянокупольною структурою: 1 – водні об’єкти; 2 – свердловини; 3 – контур солянокупольної структури на абсолютній відмітці 0 м; 4 – контур солянокупольної структури на поверхні алювіальних відкладів; 5 – підземні шахти; 6 – ізолінії потужності перекриваючих відкладів.

Fig. 1. Map of the thickness of overlying rocks above the Soltovyno salt-dome structure: 1 – water bodies; 2 – wells; 3 – contour of the salt-dome structure at the absolute 0 m mark; 4 – contour of the salt-dome structure on the surface of alluvial deposits; 5 – underground mines; 6 – thickness isolines of overlying sediments.

представлені торфом від чорного до темно-сірого, щільним, землистим, з численними рослинними рештками, з максимальною потужністю в центральній частині до 12,0 м.

Валунно-галечникові відклади поширені майже по всій території (рис. 2). Проте їх геологічний опис з різних причин переважно узагальнений, пошарове розчленування виконано лише в окремих свердловинах, а зазначене співвідношення з піщано-глинистим заповнювачем приблизне. Зважаючи на достатньо великий обсяг інформації та доволі рівномірний її розподіл по досліджуваній площі, для товщі виділено такі закономірності. Крупна фракція представлена переважно галечниками добре окатаними, несорттованими, строкатого петрографічного складу (пісковиків, аргілітів, андезитів, туфоандезитів, кварцитів, вапняків, туфів), з середнім розміром 3,0–5,0 см. Валуни здебільшого поодинокі, діаметром іноді до 1,0 м. У нормальному, не порушеному розрізі, спостерігається вертикальна диференціація гра-

нулометричного складу, з переважанням піщаної фракції у верхній, валунно-галечникової – в центральній та глинистої – у нижній частинах розрізу. Потужність нижнього, глинистого шару, не витримана, зростає при наближенні до цоколів терас та соляного тіла. Потужність валунно-галечникових відкладів геоморфологічно диференційована та в не порушеному розрізі становить 3,0–5,0 м для заплави, 5,0–10,0 м для першої та 10,0–16,0 м для другої надзаплавної терас. Основні закономірності зміни потужності валунно-галечникових відкладів зображені на рис. 2.

За даними роботи (Тіркель, Піталенко, 2010), у Великому Чорному Мочарі кількість піщаних фракцій у заповнювачі змінюється від 17,3 до 80,0%, а пилюватих і глинистих – від 11 до 21%. У Малому Чорному Мочарі кількість піщаних фракцій у заповнювачі коливається від 15,3 до 35,0%, а пилюватих і глинистих – від 12,6 до 35,7%. Виходячи з цього, фільтраційні властивості галечників на цих ділянках неоднакові. За

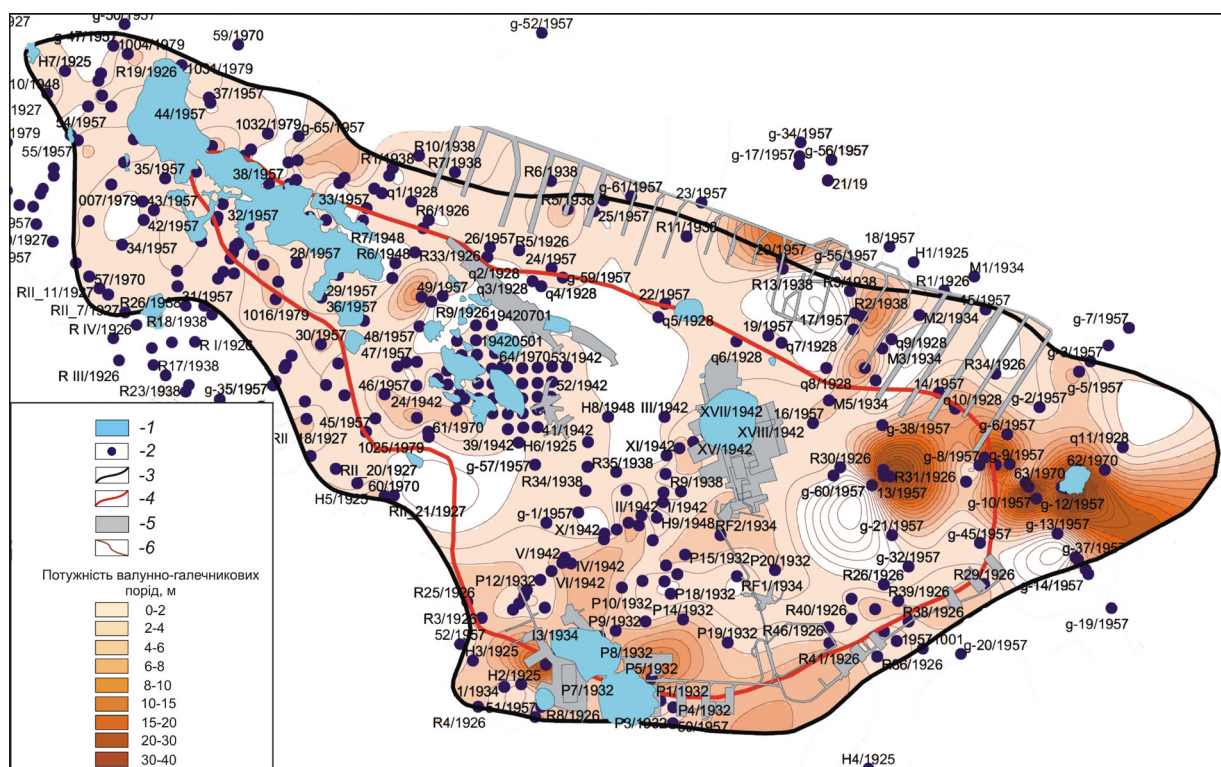


Рис. 2. Карта потужності валунно-галечникових порід над Солотвинською солянокупольною структурою: 1 – водні об’єкти; 2 – свердловини; 3 – контур солянокупольної структури на абсолютній відмітці 0 м; 4 – контур солянокупольної структури на поверхні алювіальних відкладів; 5 – підземні шахти; 6 – ізолінії товщин потужності валунно-галечникових порід.

Fig. 2. Map of the thickness of boulder and pebble rocks above the Solyotvyno salt-dome structure: 1 – water bodies; 2 – wells; 3 – contour of the salt-dome structure at the absolute level of 0 m; 4 – contour of the salt-dome structure on the surface of alluvial deposits; 5 – underground mines; 6 – thickness isolines of boulder and pebble rocks.

межами депресій Чорного Мочара галечники більш відсортовані, вміст глинистих і пілуватих фракцій не перевищує 8,5%, кількість піщаних фракцій зростає до 50% і помітно збільшується вміст гравелистих фракцій. Чорний Мочар приурочений до ерозійного розмиву і характеризується інтенсивним замуленням галечників.

Гранулометричний склад валунно-галечникових відкладів Затону характеризується незначним вмістом пілуватих і глинистих фракцій. Верхній шар першої надзаплавної тераси містить підвищений вміст пілуватих частинок (до 23,51%), нижче залягає шар, у якому пілуваті й глинисті частинки майже відсутні, а вміст піщаних і гравелистих частинок становить понад 70% (Тіркель, Піталенко, 2010).

Гранулярна сполука валунно-галечникових відкладів у північній частині родовища відрізняється невеликою кількістю піщаних фракцій і підвищеним вмістом пілуватих і глинистих фракцій, які складають у середньому 18–25%. У міру віддален-

ня на північ вміст глинистої фракції збільшується (Тіркель, Піталенко, 2010).

У межах більшої частини площі родовища галечники відділені від кам'яної солі шаром глин, які одержали місцеву назву «палаг» (Тіркель, Піталенко, 2010). Головною складовою частиною гранулометричного складу «палагу» є частинки розміром менше 0,01 мм, що характерно для глин. За числом пластичності «палаг» відноситься до пластичних глин. У гірничих виробках легко розмокає і спучується, роблячи підвищений тиск на кріплення і викликаючи деформації гірничих виробок. При вмісті глинистих фракцій 14,7% набрякання досягало 61%. У результаті слабкої водовіддачі, «палаг», який насичений водою, легко сповзає у вимоїни і провали. Глини, що залягають у вигляді прошарків у соляному тілі, відрізняються від «палагу». За величиною водовіддачі дані глини відносяться до практично водонепроникних. Швидкість розмокання висока, а набрякання відсутнє (рис. 3).

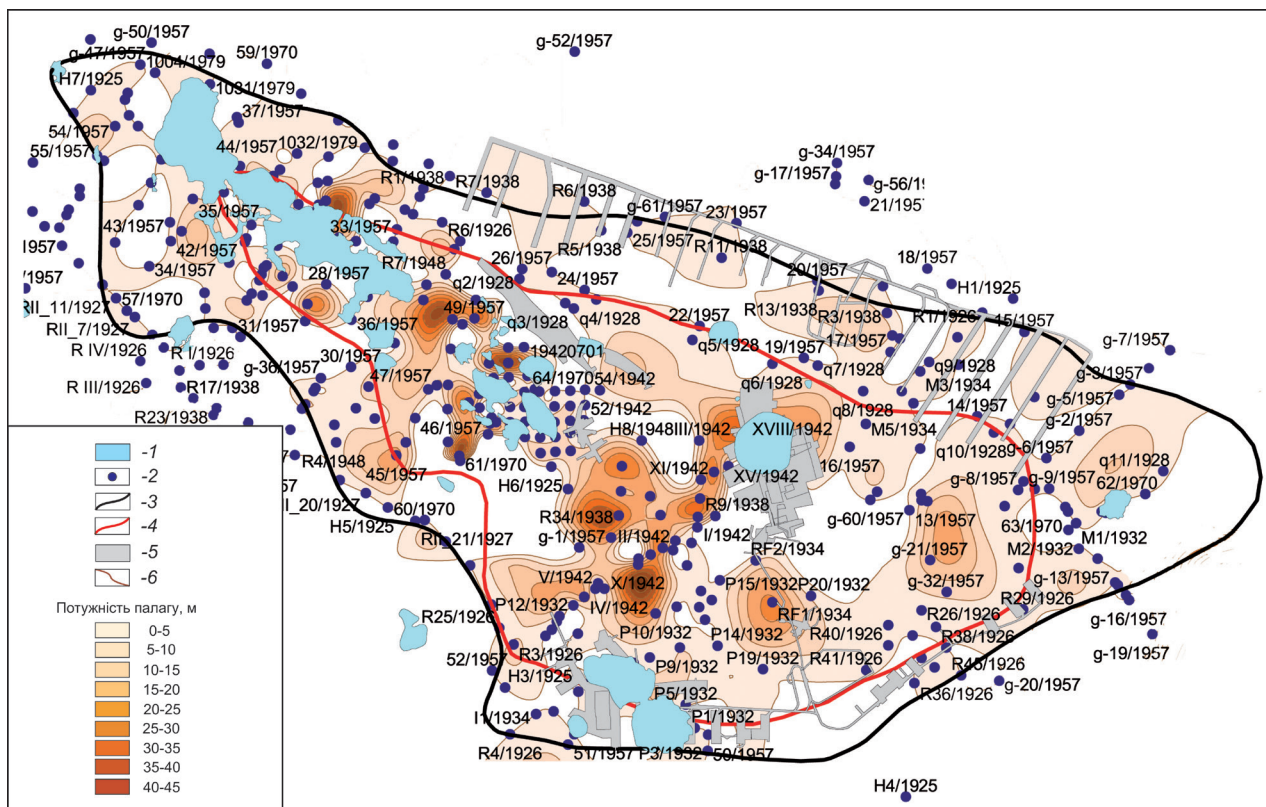


Рис. 3. Карта потужності «палагу» Солотвинської солянокупольної структури: 1 — водні об’єкти; 2 — свердловини; 3 — контур солянокупольної структури на абсолютній відмітці 0 м; 4 — контур солянокупольної структури на поверхні алювіальних відкладів; 5 — підземні шахти; 6 — ізолінії потужності «палагу»

Fig. 3. Map of the “palace” thickness of the Sotkivyno salt-dome structure. 1 — water bodies; 2 — wells; 3 — contour of the salt-dome structure at the absolute mark of 0 m; 4 — contour of the salt-dome structure on the surface of alluvial deposits; 5 — underground mines; 6 — thickness isolines of the “palace”.

Потужність «палагу» становить від кількох сантиметрів до 2–5 м, зрідка досягає 10–30 м. «Палаг» розвинений не по всій площі. Цілісність його порушена на північ від шахт «Кунігунда–Миколай», в 100 м на північний захід від шахти «Христина», а також у районі Затону. Глини «палагу» є надійним водопідпором, але в минулі роки не завжди дотримувалася їх цілісність. Усі раніше пройдені і занедбані шахти стали тими «вікнами», крізь які до соляного покладу отримали вільний доступ ґрунтові води. Літологічно товща представлена глиною твердою темно-сірою і сірою, комкуватою, слабо слюдистою, засоленою, з гніздами каоліну. Потужність шару не витримана по простяганню та змінюється від 10 до 16,8 м.

Породи солотвинської світи міоцену залягають на соленосних відкладах і падають під кутом 30–40°, наружні частини пластів яких загорнуті у бік поверхні, що свідчить про прояви елементів діапіризму під час протикання порід соляним тілом. Склад порід — сірі, темно-сірі глини, злегка вапняковисті алевроліти, аргіліти, пісковики, зеленуваті туфи. Потужність світи досягає 350 м (Тіркель, Піталенко, 2010).

Контакт між соляним тілом та вмисними породами тектонічний. Є дві характерні особливості Солотвинської солянокупольної структури: наявність зон дроблення, брекчірування та тріщинуватості порід у зоні їх контакту з соляним тілом та слабке загортання шарів вміщуваних порід до денної поверхні.

Гідрогеологічна характеристика покривних четвертинних відкладів Солотвинської солянокупольної структури.

У четвертинних відкладах Солотвинської солянокупольної структури виділено п'ять водоносних горизонтів, що гідравлічно пов'язані між собою (Фролов, 1974; Тіркель, Піталенко, 2009, 2010):

- в алювіальних відкладах заплавної тераси р. Тиса;
- у першій надзаплавній терасі р. Тиса;
- у другій надзаплавній терасі р. Тиса;
- у третій надзаплавній терасі р. Тиса;
- у тортонських відкладах.

Також на Солотвинському родовищі кам'яної солі відокремлюються (Тіркель, Піталенко, 2010; Фролов, 1974):

- надсольові води, що залягають в покривних породах над солевим покладом;
- бічні або навколосольові води, що оточують солевий поклад з боків;

- підсольові води, що залягають в породах, які підстилають соляний поклад;
- внутрішньосольові води.

Водоносний горизонт алювіальних відкладів заплави розвинений на всій території, що займає заплаву р. Тиса. Водовмісними є галечники, валуни, рідше піски. У подошві горизонту залягають аргіліти, пісковики і туфи тортону або кам'яна сіль, відділена місцями від алювію глинами потужністю до 5 м. У покрівлі горизонту на більшій частині території залягають легкі суглинки та супіски потужністю 1–2 м від денної поверхні лише ґрунтовим шаром. Горизонт безнапірний, рівень води розташовується на глибині від 0,5 до 2,5 м. Амплітуда коливань рівня у природному режимі досягає 1–1,5 м. Загальна потужність водоносного горизонту залежить від рельєфу і змінюється від 1 до 25 м.

Живлення водоносного горизонту заплавної тераси здійснюється водами р. Тиса і внаслідок інфільтрації атмосферних опадів. Коливання рівня води в річковому циклі становить від 0,25 до 0,73 м. Горизонт переважно безнапірний, але в окремих випадках за рахунок глинистих прошарків у верхній частині розрізу формуються місцеві напори. Під час найвищих паводків у західній частині території на короткий період формуються натиски на більш широкій території за рахунок поверхневих суглинків.

Водоносний горизонт гідравлічно пов'язаний з водоносним комплексом відкладів тортону, з карстовими водами соляного тіла та з алювіальним водоносним горизонтом третьої тераси.

Формування ґрунтового потоку в алювіальних відкладах заплави відбувається за рахунок р. Тиса. У верхній частині Затону річкова вода надходить у пласт, а в нижній частині алювіальні води дренуються рікою. Живлення горизонту здійснюється також унаслідок інфільтрації атмосферних опадів та розвантаження вод з інших водоносних горизонтів.

Хімічний склад води визначається гідравлічним зв'язком з річкою та з карстовими водами. Здебільшого вода прісна, з мінералізацією 0,1–0,2 г/л, її склад гідрокарбонатно-кальцієвий, дуже близький до складу річкової води. Над соляним тілом мінералізація води різко збільшується. На контакті з сіллю мінералізація становить у середньому 300 г/л, зменшуючись вгору по розрізу до 10–50 г/л. За межами соляного тіла мінералізація води скорочується до прісної дуже швидко.

При цьому її склад із хлоридно-натрієвого стає гідрокарбонатним.

Водоносними породами *першої надзапальної тераси* є галечники з домішкою зцементованих різнозернистих пісковиків, валунів, глин, гравію. Живлення водоносного горизонту відбувається внаслідок інфільтрації поверхневих вод і надходження вод з другої тераси, а дренується він нижньою частиною «Тиса-штольні» й джерелами, розташованими на березі р. Тиса. Хімічний склад води визначається гідравлічним зв'язком з річкою і водами соляного карсту. На значній частині території вода прісна, з мінералізацією 0,1–0,2 г/л, гідрокарбонатно-кальцієвого складу, на контакті із сіллю мінералізація становить у середньому 300 г/л.

Підземні води *другої тераси* відіграють найбільшу роль в обводненні родовища. Водоносними породами є галечник і гравій із прошарками пісковіку. Основним джерелом живлення горизонту слугує інфільтрація поверхневих вод на значній території тераси та перелив з водоносного горизонту третьої тераси. Дренується цей горизонт в основному водоуловлюючими спорудами (Тіркель, Піталенко, 2009).

Цей водоносний горизонт значно здренований дією дренажних виробок і виробок соляних шахт. Товщина водоносного горизонту в контурі родовища коливається від 10 до 53 м.

У Затоні (західна частина солянокупольної структури) водоносний горизонт другої надзапальної тераси у природному стані знаходиться на глибині 0,5–1,5 м і має потужність 3,5–8,0 м. Галечник характеризується дуже високими фільтраційними властивостями (260 м/добу).

Поверхня корінних порід під обводненими галечниками нахилена в бік соляного тіла. Аналіз висотних відміток вод підстилаючих порід вказує на можливість руху вод та утворення соляного карсту.

В результаті дренажу підземних вод у східній частині родовища (Чорний Мочар) водоуловлюючими й експлуатаційними виробками шахти № 8 базис ерозії соляного карсту опустився нижче підшви алювіальних відкладів, що привів до значного осушення галечників. Відтік підземних вод із Чорного Мочара спостерігається в бік гірничих виробок.

Гідрогеологічні умови центральної частини родовища також характеризуються порушенням режимом підземних вод.

Водоносними породами *третьої тераси* є галечники і делювіальні відклади потужністю 5–6 м. Підземні води дренуються рядом джерел, що розташовані на схилі хребта та у долині. Живлення їх відбувається за рахунок атмосферних опадів і вод корінних порід.

Водоносний горизонт алювіальних відкладів третьої тераси займає північну частину району. У підшві горизонту залягають аргіліти, пісковики, туфи та кам'яна сіль тортонського ярусу. Від кам'яної солі горизонт у багатьох місцях відокремлений прошарком глин кепроку потужністю від 0,5 до 20 м. У покрівлі горизонту залягають суглинки і глини потужністю від 2 до 12 м.

Горизонт безнапірний, але в окремих місцях з допомогою покривних суглинків можуть створюватися невеликі напори. Глибина рівнів, що встановилися, в непорушених умовах коливається від 0,8 до 6 м. У зоні впливу шахтного водовідливу і дренажних виробок рівень падає до 14 м і більше.

Потужність горизонту в непорушених умовах коливається від 10 до 50 м. Біля краю тераси та поблизу дренажних виробок горизонт майже повністю осушений. Підвищена потужність алювіальних відкладів, як і на заплаві, спостерігається в зоні контакту солі у породах, що вміщують глинисті прошарки. Поглиблення в цоколі тераси заповнені відкладами з підвищеним вмістом глини, а отже, дуже слабо фільтрують прісну воду. Тому не можна при збільшенні потужності алювіальних відкладів бути впевненим в аналогічному збільшенні потужності водоносного горизонту. Безпосередньо над соляним тілом водоносний горизонт розділений прошарком тортонських піщано-глинистих відкладів на два потоки.

Південний потік майже повністю поглинається системою джерельного водозахисту, але частково також розвантажується в соляний карст або стікає цоколем у відклади високої заплави. Північний потік, що у складних взаємовідносинах з карстовими водами, частково поглинається соляним карстом, а частково стікає цоколем тераси або як джерелом, або як підземним потоком. Практично вся витрата ґрунтового потоку, не перехоплена дренажною системою, зрештою розвантажується у відкладах високої заплави.

Живлення водоносного горизонту здійснюється внаслідок інфільтрації атмосферних опадів та розвантаження вод тортонських відкладів з боку шостої тераси.

Мінералізація води змінюється у районі купола від 0,6 до 300 г/л. При цьому спостерігається як горизонтальна, так і вертикальна диференціація води за щільністю та мінералізацією.

Водоносний комплекс тортонських відкладів розвинений по всій території району. Водоносні всі породи, що складають комплекс: туфи, пісковики, аргіліти, алевроліти. В аргілітах водоносність відноситься до зон розломів, а в туфах і пісковиках трапляються води як пластового, так і жильного типів. Туфи найбільш водопроникні.

Водоносні зони розкриті рядом свердловин, а також дренажними штольнями. Потужність комплексу у межах району не встановлена. Води комплексу гідравлічно пов'язані з алювіальними відкладами та з водами соляного карсту.

Поблизу соляного штоку води комплексу хлоридно-натрієві, з мінералізацією від 6,6 до 33 г/л.

Значну роль при оцінюванні гідрогеологічних умов родовища також відіграють напірні води, які циркулюють у породах, що вміщують соляне тіло. У приповерхневій частині бокових порід, що значною мірою підлягає процесам вивітрювання, *навколосольові* води частково живляться атмосферними опадами і частково самі живлять надсольові води.

Внутрішньосольові води залягають у самому соляному масиві. Це карстові та седиментаційні води. Карстові води не становлять небезпеки, доки базис дренажу знаходиться гіпсометрично нижче їх розташування. Якщо базис дренажу вище розташування вод, то це призводить до інтенсивного розвитку карстових явищ. Седиментаційні води самі по собі не агресивні, але у випадку Солотвинської солянокупольної структури ділянки із великою кількістю вод спричиняють великі водоприпливи, тому що ці води витікали у гірничі виробки та ставали базисом дренажу надсольових вод.

Аналіз *надсольових вод* показує, що алювіальний потік рухається у своєму ложі не суцільною течією, а сильно деформується існуючими виробками, карстовими воронками, провалами.

Навколосольові води приурочені до зони контакту соляного купола з вмісними породами, представленими аргілітами, мергелями, пісковиками, туфами. Безпосередньо в периферійних частинах родовища *навколосольові* води формуються внаслідок інфільтрації атмосферних опадів, але головна область їхнього живлення знаходиться

в межах південно-західного схилу Карпат, звідки вони по зонах розлому надходять до родовища.

Карстові води займають майже всю центральну частину родовища. Їхнє формування пов'язане з дренажними виробками, які штучно понизили базис ерозії. Водовідлив з виробок підсилив приплив прісних алювіальних вод у товщу кам'яної солі, що призвело до утворення карстових порожнин і формування підземних вод, які заповнюють ці порожнини. Живлення карстових вод у межах другої тераси здійснюється внаслідок прямої інфільтрації атмосферних та алювіальних вод у карстові воронки, розвантаження — через осушувальну систему водовідливу і природним шляхом — в алювій першої тераси на Затоні. Мінералізація карстових вод висока і становить 300 г/л, склад вод — хлоридно-натрієвий.

В межах родовища до глибини 150–200 м дуже поширені карстові процеси. Механізм карстоутворення запущений при порушенні глин кепроку («палагу») та в подальшому збільшений системою рудничного водовідливу (Фролов, 1974). Розподіл інтенсивності карстових процесів за глибиною вивчений недостатньо. В даний час не відомі навіть приблизно усереднені фільтраційні характеристики закарстованої частини солі. Живлення карстових вод здійснюється в межах третьої тераси за рахунок алювіальних вод та внаслідок прямої інфільтрації атмосферних опадів у карстові воронки. Обидві ці складові піддаються повному обліку. Певну роль відіграє також надходження води з комплексу тортонських відкладів, що становить невелику частку у загальному балансі, але впливає на руйнування родовища.

Інтенсивне зростання карстових порожнин і пов'язане з цим збільшення обсягу та швидкості фільтрації карстових вод відбувається в даний час у зоні впливу водовідливу. У районі старих затоплених гірничих виробок процеси карстоутворення відбуваються повільніше. Насичені розсоли практично не розчиняють сіль. Крім того, насичені розсоли, які є більш в'язкими і важкими, ніж прісна вода, нижче за місцевий базис ерозії не задіяні у фільтрації. Мінералізація карстових вод зазвичай 300 г/л і сягає межі насичення. У верхній частині карстових порожнин мінералізація може бути і менше 300 г/л. Склад вод хлоридно-натрієвий.

Найбільша закарстованість поверхні родовища зафіксована в межах шахтних полів рудників № 8 і 9. У цих районах налічувалося близько сотні діючих і нових провальних воронок, які охоплюють значну площу.

Воронки звичайно мають овальну, подовжену й круглу форму зі стрімкими бортами. Вони розвинені в основному у пухкій, покриваючій сіль товщі порід і приурочені до тектонічних порушень і ділянок розташування підземних виробок. Глибина воронк коливається від 0,7 до 8,0 м, довжина сягає 1,7–20,0 м, ширина — від 1,5 до 20,0 м. Стінки воронк складені четвертинними суглинками в тому випадку, коли глибина невелика, або галечниками — при значній глибині. Днище більшості воронк звичайно засипано четвертинним матеріалом або відходами виробництва.

Карстопрояви на шахтному полі рудника № 8 пов'язані з низьким базисом дренажу алювіальних вод, який зараз знаходиться на рівні першого горизонту (абсолютна відмітка +212,0 м) і розвитком депресійної воронки, що є наслідком відкачки рудничних вод.

У результаті інтенсивного зростання карстопроявів на західній і східній ділянках рудника № 8 утворилися наскрізні вимоїни в стінках четвертої, п'ятої і шостої камер і східного штреку на галереї.

На підставі аналізу розвитку карстопроявів на Солотвинському родовищі можна зробити висновок про те, що при сформованих гідрогеологічних умовах процес карстоутворення є явищем неминучим, і його розвиток буде тривати до кінця дії рудничного водовідливу. Карстоутворюючі процеси на родовищі можуть зменшитися тільки у випадку захисту ділянок від дренажу підземного водоносного горизонту. Гідрогеологічні умови рудника № 8 у цей час дуже складні й продовжують погіршуватися.

Надходження в гірничі виробки поверхневих і надсольових вод, агресивних відносно солей, супроводжуються зростаючим розчиненням запобіжних ціликів, формуванням тріщин і карстових порожнин. У результаті обстеження гірничих виробок рудника № 8 виявлено, що найбільша обводненість у цей час приурочена до четвертої, п'ятої та шостої західних камер, східного штреку на галереї першого горизонту.

За хімічним складом соляні води представлені розсолами із густиною 1,2 г/дм³ і вмістом хлористого натрію 288,5–315,6 г/л.

З наведеного аналізу видно, що в покрівлі першого горизонту утворилися наскрізні карстові вимоїни, а також продовжується розмив покрівлі четвертої, п'ятої та шостої камер; у багатьох місцях спостерігається капіж і струминні виходи води.

ВИСНОВКИ

Отже, перекиваючі геологічні утворення об'єднані в три структурні поверхи: алювіальні четвертинні утворення, «палаг» та валунно-галечникові. (Тіркель, Піталенко, 2009)

Аналіз літологічної моделі дозволяє стверджувати таке:

- четвертинні утворення мають майже повсюдний розвиток. Товща відкладів на ділянці Солотвинської солянокупольної структури через зниження місцевого базису ерозії здренована;

- ділянки з максимальною потужністю четвертинних утворень при наявності під ними виробленого простору найбільш небезпечні з погляду карстоутворення;

- «палаг» має спорадичне поширення, найбільша протужність спостерігається у північно-східній частині родовища. У той же час «палаг» втратив свою функцію місцевого водоізоляційного шару, перешкоджаючого проникненню поверхневих вод у результаті здренування четвертинної товщі, цілісність його вже була порушена;

- детальний аналіз потужної товща (до 30 м) валунно-галечникових відкладів ділянки Чорного Мочара вказує на приналежність території до древнього русла (див. рис. 2). У свою чергу, древнє русло може бути розглянуто і як тектонічне порушення.

Гідрогеологічна ситуація на рудниках дуже складна і небезпечна. Вона характеризується великими водоприпливами, які постійно підвищуються. Як свідчать дані геологічної служби солерудника, приплив води до гірничих виробок рудника № 8 на кінець 2006 р. становив 60 м³/год (до 100 м³/год), а до гірничих виробок рудника № 9–200 м³/год. На кінець 2007 р. приплив води у виробки шахт солерудника значно підвищився. При цьому існуюча система водовідливу практично не впливає вже на зростання водоприпливів. За даними обстежень найбільшій з водовідливних виробок «Тиси-штольні» приплив води, який вона перехоплює, сягає 100–200 м³/год. У результаті постійного техногенного впливу на режим підземних вод останній знаходиться у постійній динаміці і може різко змінюватись залежно від різних факторів.

В цей час, як відомо, здійснюється постійний водовідлив з обох рудників. Якщо насосне устаткування виходить з ладу, починається затоплення рудників.

Можна констатувати, що на даний час гідрогеологічна ситуація на родовищі є такою:

— водоносні горизонти надсолевих четвертинних відкладів здреновані системою спеціальних водоуловлюючих виробок, створених для захисту родовища, та діючими гірничими виробками; іншими словами, спостерігається впливове порушення гідрогеологічних умов (штучна активізація руху агресивних підземних вод і перерозподіл потоків);

— відбулося порушення суцільності глинистого «палагу», який покривав і значною мірою захищав соляне тіло від агресивної дії прісних надсолевих вод;

— сформувалися значні об'єми відпрацьованого простору у верхній частині соляного купола, пов'язані з підземними водами. При цьому старі виробки (сім затоплених шахт) заповнені

насиченим розсоллом, що знаходиться в умовах застійного режиму до тих пір, доки води у гірничих виробках не матимуть гідравлічного зв'язку з розташованими нижче діючими гірничими виробками і не зможуть розвантажуватися на глибших базисах дренажу; виробки діючих шахт мають постійні водопріпливи, що зростають з часом і спричиняють розвиток водопровідних каналів;

— відбулося значне вилугування приповерхової частини соляного масиву з утворенням різних карстових форм до глибини 450 м як усередині соляного масиву, так і на земній поверхні над родовищем (у межах гірничих відведень і за його межами).

REFERENCES

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). DOI: <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2010.150809>.

Pitalenko E. I., 2008. Report. Hydrogeological and geotechnical research performance in order to establish site of water entry into the Sotolvyno salt mine and geomechanical processes implementation studies in the development of Sotolvyno salt deposit and the impact of salt mines on the environment, Funds UkrNDMI, inv. No 2302, 59 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).

Siumar 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>.

Siumar N. P., 2012. Geological and lithological peculiarities of Devonian upper Fran salt formation on Dnipro-Donets depression, Collection of Scientific works of the Institute of geological sciences NAS of Ukraine. Vol. 4. Pp. 119–125. (In Ukrainian). DOI: <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2012.148835>.

Frolov M. V., 1973. Report. Preliminary exploration of natural brines Sotolvino rock salt deposit in the 1971–1973, SRDE «Geoinform Ukraine», inv. № 35329. Vol. 1, 83 p. (In Russian).

Shehunova S. B., Lobasov O. P., Sukhomlyn N. P., 2006. Upper Jurassic rock salt formation model in the Dobrogean foredeep: An analysis and interpretation using GIS technology. Collection

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*. Київ, 2010. Вип. 3. С. 294–305. DOI: <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2010.150809>.

Піталенко Є. І. Проведення гідрогеологічних і інженерно-геологічних досліджень з метою встановлення місць проникнення води у шахти Солотвинського солерудника та виконання досліджень геомеханічних процесів при розробці Солотвинського родовища кам'яної солі і впливу діяльності соляних шахт на навколишнє природне середовище. Донецьк, 2008. Фонди УкрНДМІ, інв. № 2302. 59 с.

Селянчин М. І. Звіт про результати дорозвідки кам'яної солі глибоких горизонтів в межах поля шахти № 8 Солотвинського родовища за 1992–1995 рр. Тячевський р-н Закарпатської області. Берегово, 1995. ДНВП «Геоінформ 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>.

Сюмар Н. П. Геолого-літологічні особливості верхньофранської соленосної формації девону Дніпровсько-Донецької западини. *Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України*. Київ, 2012. Вип. 5. С. 123–129. DOI: <https://doi.org/10.30836/igs.2522-9753.2012.148835>.

Фролов М. В. Отчет о предварительной разведке естественных рассолов Солотвинского месторождения каменной соли за 1971–1973 г. (Тячевский р-н, Закарпатской обл.). Киев, 1973. ДНВП «Геоінформ України», інв. № 35329. Кн. 1. 140 с.

Шехунова С. Б., Лобасов О. П., Сюмар Н. П. Побудова та аналіз літологічної моделі верхньоюрської соленосної формації Переддобрудзького прогину засобами ГІС. *Збірник наукових*

ЛІТОЛОГІЧНА МОДЕЛЬ НАДСОЛЬОВОГО КОМПЛЕКСУ СОЛОТВИНСЬКОЇ СОЛЯНОКУПОЛЬНОЇ СТРУКТУРИ

of Scientific works of the Institute of geological sciences NAS of Ukraine: Contemporary trends in Ukrainian geological science. Pp. 62–72. (In Ukrainian).

Shupikov A. R., Sabov Yu.V., Vasilev I. N., Tashi V. M., 1970. Report. Additional exploration in 1967–1970 of Sotolvyno rock salt deposit (Transcarpathian region), SRDE «Geoinform Ukraine», inv. No 32263. Vol. 1, 120 p. (In Russian).

праць Інституту геологічних наук НАН України. Київ, 2006. С. 62–72.

Шупиков А. Р., Сабов Ю. В., Васильев И. Н., Таши В. М. Отчет о доразведке в 1967–1970 гг. Солотвинского месторождения каменной соли в Закарпатской области. Берегово, 1970. ДНВП «Геоінформ України», інв. № 32263. Кн. 1. 120 с.

Manuscript received June 18, 2021;
revision accepted October 10, 2021.

Інститут геологічних наук НАН України,
Київ, Україна

ЛИТОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НАДСОЛЕВОГО КОМПЛЕКСА СОЛОТВИНСКОЙ СОЛЯНОКУПОЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ

Солотвинское месторождение каменной соли до недавнего времени было одним из самых больших в Украине. Но с середины 1990-х годов на месторождении начали происходить процессы, повлекшие опасную экологическую ситуацию техногенного характера. В частности, неконтролируемое развитие соляного карста, загрязнение поверхностных и подземных вод, создающих угрозу трансграничного загрязнения р. Тиса. Для оценки экологического состояния и последующего мониторинга развития опасных геологических процессов в рамках Солотвинского месторождения каменной соли была разработана комплексная литологическая модель солянокупольной структуры. В статье отражены результаты анализа геолого-разведочных работ, сопровождавших освоение ресурсов каменной соли Солотвинской солянокупольной структуры; накоплена, структурирована и обработана многоуровневая разномасштабная геологическая информация и создана иерархическая база данных, которая была использована для разработки элементов литологической модели Солотвинской структуры (карты толщин отдельных литологических разновидностей покровных четвертичных отложений). Построения выполнялись с использованием ГИС-приложений по разработанным, адаптированным и усовершенствованным авторским методикам. Анализ карт толщин отдельных литологических разновидностей свидетельствует о недостаточности современной геологической информации о состоянии геологической среды не только для обеспечения достоверности модельных построений всей Солотвинской солянокупольной структуры, но и для определения критических параметров геологической среды.

Ключевые слова: Солотвинское месторождение каменной соли, литологическая модель, тектоника, гидрогеология, «палаг».