

УДК 622.03.033:552.53:[552.(08+122)+553.085]:004.94

С.Б. Шехунова, М.В. Алексєєнкова, С.М. Стадніченко, Н.П. Сюмар

ІНТЕГРАЛЬНА ГЕОЛОГІЧНА МОДЕЛЬ СОЛОТВИНСЬКОЇ СТРУКТУРИ ЯК ІНСТРУМЕНТ ОЦІНКИ ГЕОЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ СОЛОТВИНСЬКОГО РОДОВИЩА КАМ'ЯНОЇ СОЛІ

S.B. Shekhunova, M.V. Aleksieienkova, S.M. Stadnichenko, N.P. Siumar

THE INTEGRATED GEOLOGICAL MODEL OF SOLOTVYNO STRUCTURE AS A TOOL TO ASSESS GEOECOLOGICAL SUSTAINABILITY OF SOLOTVYNOROCKSALT DEPOSIT

Солотвинське родовище кам'яної солі – одне з великих в Україні. З середини 1990-х років на родовищі почали накопичуватися проблеми, які призвели до небезпечної екологічної ситуації техногенного характеру, що набула статусу надзвичайної ситуації державного рівня у 2010 р. Зокрема, порушення ландшафту, його деградація в результаті неконтрольованого розвитку соляного карсту, забруднення поверхневих та підземних вод створюють загрозу транскордонного забруднення р. Тиса. Визначення ризиків та обґрунтування управлінських рішень з метою мінімізації наслідків надзвичайної ситуації мають базуватися на аналізі її причин. В статті висвітлено результати аналізу геолого-розвідувальних 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 першої ітерації інтегральної геологічної моделі Солотвинської структури (модель земної поверхні, структурно-тектонічна, соляного ядра, гідрогеологічна, техногенної складової геологічного середовища). Побудови виконувалися з використанням ГІС-додатків за розробленими, адаптованими та удосконаленими авторськими методиками. Інтегральна цифрова геологічна модель Солотвинської структури запропонована як інструмент оцінки геоекологічного стану, визначення заходів з відновлення рівноваги в геологічному середовищі, аналізу та оцінки проектних технічних рішень щодо використання соляних ресурсів. Аналіз першої ітерації моделі свідчить про відсутність 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. Запропоновано комплекс геолого-розвідувальних робіт для отримання нової геологічної інформації та підвищення достовірності побудов.

Ключові слова: Солотвинське родовище кам'яної солі, геологічна модель, тектоніка, гідрогеологія, екологічний стан.

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 Not 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. The complex of geological and exploration activities for new geological information and improve the reliability of constructions has been proposed.

Keywords: Solotvyno rock salt deposit, geological model, salt tectonics, hydrogeology, environmental state.

ВСТУП

Солотвинське родовище кам'яної солі – одне з великих в Україні. Останнім часом воно набуло стратегічного значення для країни з огляду на втрату соляних ресурсів внаслідок анексії Криму та розташування Артемівського і Слов'янського родовищ на відстані перших десятків кілометрів від зони бойових дій на сході. У 80-90 рр. минулого століття солотвинська сіль не тільки повністю задовольняла попит Закарпатської облас-

ті, але й вивозилася за межі України (Угорщина, Чехословаччина, Білорусь, Литва, Латвія, Естонія, Росія). Систематичну розробку солі родовища розпочато з 1778 р. Умови розробки за радянською класифікацією відносилися до 2 категорії складності, зокрема, за геологічною будовою (тектонічно та літологічно зумовленою неоднорідністю якості сировини), гідрогеологічними та інженерно-геологічними характеристиками. З середини 1990-х років на родовищі почали

накопичуватися проблеми, які призвели до небезпечної екологічної ситуації техногенного характеру, що набула статусу надзвичайної ситуації державного рівня у 2010 р. (експертний висновок МНС України від 09.12.2010 р. №02-17292/165); цей рівень було підтверджено в 2013 р. (експертний висновок Державної Служби України з надзвичайних ситуацій №3-2013, рішення Закарпатської обласної комісії з ТЕБ та НС від 29.04.2013 р.). Внаслідок цього було припинено роботу ДП «Солотвинський солерудник» з видобутку кам'яної солі, а також функціонування підземного відділення спелео-санаторію Української алергологічної лікарні МОЗ України та обласної лікарні, діяльність яких була пов'язана безпосередньо з гірничими виробками діючих соляних шахт, втрачено унікальну лабораторію з вивчення елементарних частинок Інституту фізики НАН України. Ландшафт та рельєф території родовища зазнали аварійної деградації, дестабілізації. Прояви небезпечних процесів виходять за межі гірничого відводу рудників. 8 січня 2014 р. на засіданні РНБО, в якому від НАН України брала участь С.Б. Шехунова, з метою здійснення заходів щодо попередження та мінімізації наслідків небезпечних геологічних процесів у регіонах України, визначення пріоритетності термінів їх реалізації та фінансування, було ухвалено пропозиції щодо внесення змін до Закону України «Про Загальнодержавну цільову програму захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру на 2013-2017 роки». Проте ці пропозиції не були реалізовані. За останній період на ДП «Солотвинський солерудник» суттєво погіршився стан навколишнього природного середовища: активізувалися небезпечні процеси карстоутворення в районі шахти № 8; загальний об'єм провалів та карстових утворень за 2012-2013 рр. збільшився майже вдвічі і на сьогодні становить понад 5,0 млн м³. Руйнація міжповерхових та міжкамерних ціликів призвела до катастрофічних просідань земної поверхні з руйнуванням поверхневих споруд, промислових та житлових будівель, інженерних мереж, що становить загрозу існуючій інфраструктурі селища та безпеці життєдіяльності населення. Крім руйнування будівель, що загрожує життю людей, додатковим чинником соціальної напруженості стала втрата робочих місць як у видобувній так і рекреаційно-медичній сферах, оскільки ДП «Солотвинський солерудник», Республіканська та обласна алергологічні лікарні були мототворюючими підприємствами. Крім цього, порушення ландшафту, його деградація в результаті

неконтрольованого розвитку соляного карсту, забруднення поверхневих та підземних вод, створюють загрозу транскордонного забруднення р. Тиса (рис. 1).

Визначення ризиків та обґрунтування управлінських рішень з метою мінімізації наслідків надзвичайної ситуації повинні базуватися на аналізі її причин. Останні мають переважно економічні (відсутність державного фінансування для виконання мінімальних заходів з підтримки безпечного функціонування підприємства) та інженерно-технологічні (помилки у проектуванні, будівництві та експлуатації системи водовідведення, застосування вибухових технологій для інтенсифікації видобутку копалини та ін.) аспекти. Проте частина проблем пов'язана з ігноруванням не тільки складних гідрогеологічних умов родовища, а й інших геологічних (тектонічних, літологічних, інженерно-геологічних) особливостей його будови як при проектуванні, так і на наступних етапах експлуатації. Помилки призвели не тільки до зазначених наслідків, а й до втрати ресурсів родовища, тобто знищують його. Кожне хибне рішення зменшує ресурси і ускладнює інженерно-геологічні та гідрогеологічні умови. За десятиліття експлуатації родовища накопичилося багато даних, які мають бути інтерпретовані та стати основою при розробці якісних технічних рішень, зокрема щодо відновлення, а по суті, створення системи моніторингу, оскільки відновлювати вже нема чого, навіть гідрогеологічних спостережних свердловин вже не існує.

В статті висвітлено результати робіт за темою «Мінерально-сировинна база натрієвої, калійної та магнієвої солей в Україні та перспективи нарощування їх запасів», яка виконується за Цільовою програмою Відділення наук про Землю НАН України «Наукове забезпечення нарощування запасів корисних копалин в Україні». Представлена частина досліджень має на меті аналіз робіт з освоєння ресурсів кам'яної солі Солотвинської солянокупольної структури, накопичення, структурування та обробку багаторівневої різномасштабної геологічної інформації, створення ієрархічної бази даних, формалізацію первинної інформації для відтворення динаміки геологічних та техногенно-геологічних процесів, розробку елементів інтегральної геологічної моделі, яка є базовою для наступних поглиблених робіт, спрямованих на підвищення ефективності аналізу та управління територією, що потерпає від надзвичайної екологічної ситуації державного рівня та потребує уваги для виключення загроз її транскордонного поширення.

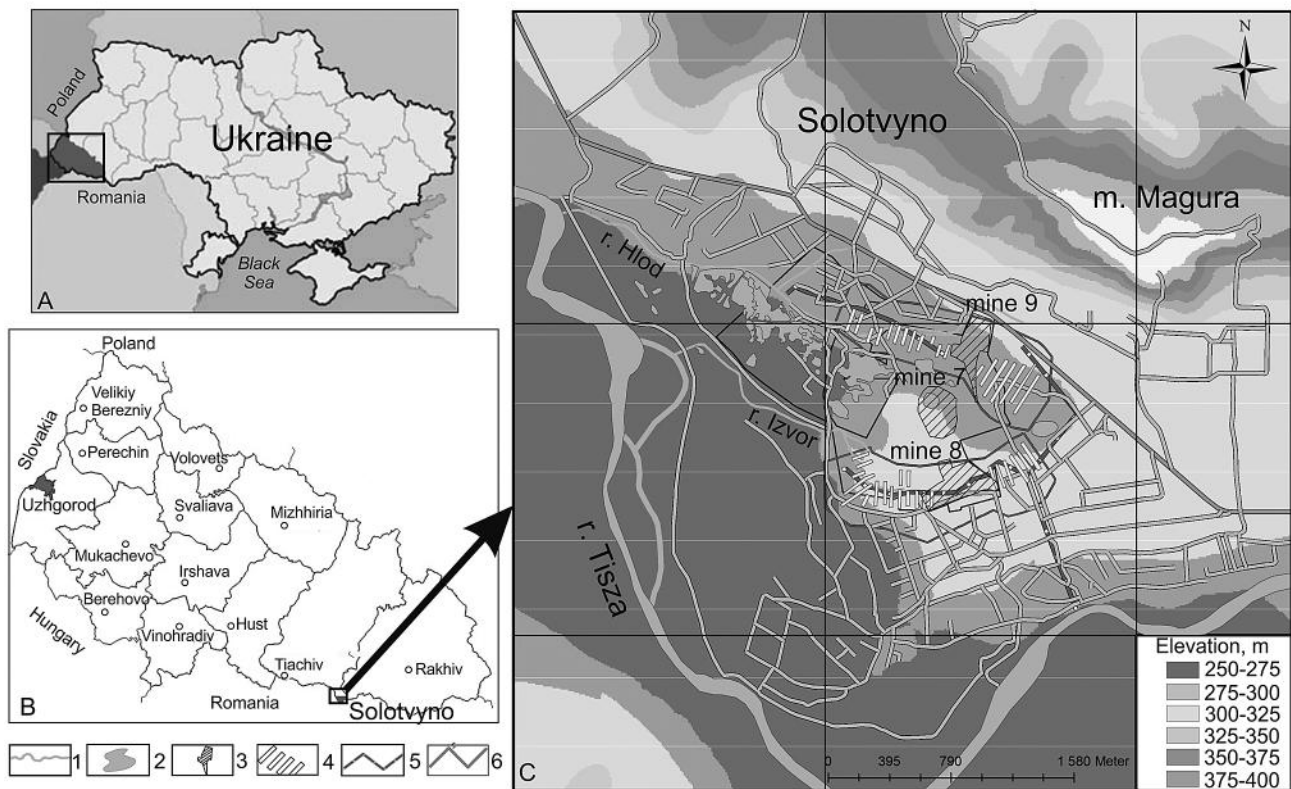


Рис. 1. Положення Солотвинської антикліналі з Солотвинським родовищем кам'яної солі на карті України (А), Закарпатської області (В), смт. Солотвино (С).

1 – річка, струмки, потічки; 2 – солоні озера; 3 – вулиці; 4 – шахтні поля; 5 – контури підземних виробок; 6 – водовідвідні шахти; інфраструктура: дороги, вулиці, шляхопроводи, залізничні колії.

Fig. 1. Solotvyno salt anticline geographic setting with the Solotvyno rock salt deposit on the map of Ukraine (A), Zakarpattia region (Transcarpathian) (B), Solotvyno urban village (C).

1 – river, streams; 2 – salt lake; 3 – street; 4 – mine fields; 5 – mine outlines; 6 – mine drainage; infrastructure: roads, streets, overpasses, railways.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

Вивчення геології (геоморфологія, тектоніка, стратиграфія, літологія, гідрологія, гідрогеологія, корисні копалини та ін.) Солотвинської структури та одноіменного родовища кам'яної солі почалося ще з другої половини XVIII ст. Першою підземною виробкою, побудові якої передували геолого-розвідувальні роботи була шахта «Кристина», закладена у 1777 р. З того часу пошуково-розвідувальні роботи на кам'яну сіль, а з минулого століття також на вуглеводні та мінеральні води, сприяли накопиченню значного масиву геологічної інформації, яка разом з результатами планомірних геологічних робіт (геологічна зйомка, геолого-розвідувальне буріння, спеціальні роботи) була використана для конструювання бази даних та створення елементів інтегральної геологічної моделі Солотвинської структури. Особливості зазначеної бази даних: ієрархічність інформації, яка дозволяє реалізовувати модель локального (об'єктового) рівня в субрегі-

ональному та регіональному контексті, фрагментарність моніторингових даних, характеристики низки параметрів та даних на різних часових зрізах. Аналіз зібраних даних свідчить, що за останні 20 років, на жаль, нової якісної геологічної інформації локального рівня по території родовища майже не отримувалося; системні моніторингові геолого-гідрогеологічні спостереження не виконувалися, а зводилися до епізодичних спостережень; «нові» звіти укладалися переважно шляхом перекладу українською старих текстів. До винятків належать роботи Українського державного науково-дослідного і проектно-конструкторського інституту гірничої геології, геомеханіки і маркшейдерської справи НАН України щодо результатів системних інструментальних спостережень за просіданнями земної поверхні в західній частині родовища за 2007-2010 рр. та роботи з геофізичних досліджень карстових явищ на території Прикарпаття та Закарпаття (Піталенко, 2008; Тиркель и др., 2009; Педченко, 2012; Йосипенко, 2014).

Створена авторами статті база даних на 01.03.2015 р. містить понад 200 одиниць текстових матеріалів (монографій, звітів, статей та інших), які висвітлюють результати дослідження різних аспектів геології родовища та прилеглих територій, дані по свердловинах, розрізах, хімічних та ін. аналізах вод (поверхневих і підземних), розсолів, порід, результати власних досліджень та ін. (рис. 1а).

В межах Солотвинського родовища кам'яної солі (крім Північної ділянки) за період з 1922 по 1982 роки було пробурено понад 500 наземних свердловин, для створення комплексної моделі зібрано дані по 450 з них (рис. 2 на вкладці, табл. 1). З огляду на різну якість стратиграфічних та літологічних даних різних років свердловини поділено на чотири групи за ступенем достовірності:

1. Глибокі свердловини розвідувальних робіт 1954-1970 рр., які супроводжувалися суцільним відбором керну та інклінометрією;
 2. Гідрогеологічні та інженерно-геологічні свердловини 1954-1982 рр.;
 3. Глибокі свердловини 1922-1948 рр.;
 4. Гідрогеологічні свердловини 1922-1948 рр.
- Після 1982 р. в межах родовища (крім Північної ділянки) не проводилося наземного глибоко-

го буріння, здійснювалося тільки підземне розвідувальне та інженерно-геологічне буріння неглибоких свердловин, керн яких майже не зберігся.

Створена база даних була використана при розробці елементів геологічної моделі, представленої в даній роботі. Побудови виконувалися з використанням ПС-додатків, розроблених ESRI (Environmental Systems Research Institute, Redlands, США), за розробленими, адаптованими та удосконаленими методиками (Шехунова, Лобасов, 2001; Шехунова та ін., 2006; Лобасов та ін., 2010; Сюмар, 2011, 2012; Алексєєнкова, 2014).

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ. ЕЛЕМЕНТИ КОМПЛЕКСНОЇ ІНТЕГРАЛЬНОЇ МОДЕЛІ СОЛОТВИНСЬКОЇ СОЛЯНОКУПОЛЬНОЇ СТРУКТУРИ

Результатом виконаних робіт є елементи цифрової інтегральної моделі Солотвинської солянокупольної структури, а саме: модель земної поверхні, структурно-тектонічна, соляного ядра, гідрогеологічна, техногенної складової геологічного середовища.

Модель поверхні Землі містить інформацію про рельєф, геоморфологію, тераси р. Тиси, карстові форми, долини струмків, балки, промоїни, русла тимча-

Рис. 2. Схема первинного вихідного фактичного матеріалу (свердловини).

A – геологічна основа; B – 3D схема викривлених свердловин; C – деталізований розріз свердловини 62/1970. 1 – солотвинська світа, перешарування аргілітів та пісковиків; 2 – солотвинська світа, туфи; 3 – тереблянська світа, виходи соляного штоку під алювіальні відклади, кам'яна сіль перекрита «палагом»; 4 – тереблянська світа, ділянки соляного штоку не перекриті «палагом» (гідралічні вікна); 5 – контур соляного штоку по абсолютній відмітці «0»; 6 – водовідвідні шахти; 7 – контури шахтних полів; 8 – солоні озера; 9 – свердловини; 10 – геологічні (Шупіков, 1970) та гідрогеологічний розрізи; 11 – четвертинні відклади, валунно-галечникові відклади та глина темно-сіра «палаг»; 12 – солотвинська світа, ритмічне перешарування аргілітів, пісковиків, туфів, тріщинуватих; 13 – тереблянська світа, кам'яна сіль світло-сіра та сіра, NaCl ≥ 97,0%; 14 – тереблянська світа, кам'яна сіль сіра та землиста, NaCl < 97,0%.

Fig. 2. Initial material scheme (boreholes).

A – geological map; B – multi-log 3D inclined boreholes; C – single log 3D borehole 62/1970. 1 – Solyotvynska suite, alternating: siltstone, sandstone mudstone; 2 – Solyotvynska suite, alternating: tufts; 3 – Tereblianska suite, the rock salt output rod under alluvial deposits, rock salt is covered of clay («palah»); 4 – Tereblianska suite, the rock salt areas not covered of clay «palah» (hydraulic windows); 5 – outline salt dome in absolute level «0»; 6 – mine drainage; 7 – mines; 8 – salt lake; 9 – borehole; 10 – geological (Shupikov, 1970) and hydrogeological sections; 11 – quaternary sediments, alternating: boulder-gravel beds and clay («palah»); 12 – Solyotvynska suite, alternating: siltstone mudstone, sandstone and, tuff; 13 – Tereblianska suite, alternating of rock salt, light gray and gray, NaCl ≥ 97,0%; 14 – Tereblianska suite, alternating of rock salt gray, earthy, NaCl < 97,0%.

Рис. 3. Геоморфологічна модель Солотвинської солянокупольної структури та прилеглих територій.

A – цифрова модель рельєфу, B – деградація рельєфу в районі шахти №7 (за матеріалами топографічної зйомки 2009 р. (Корольчук та ін., 2009)), C – геоморфологічна схема.

1 – контур соляного штоку по абсолютній відмітці «0», 2 – солоні озера, 3 – дамба, 4 – уступи терас, 5 – контур уступу, знищений гірничими роботами, 6 – перша заплавна тераса, 7 – друга заплавна тераса, 8 – перша надзаплавна тераса, 9 – друга надзаплавна тераса.

Fig. 3. Geomorphological model of the Solyotvyno salt dome and the surrounding areas.

A – digital elevation model; B – degradation of the mine №7 relief (on materials plane surveying, 2009 (Korolchuk et al., 2009));

C – geomorphological scheme.

1 – outline of the salt dome in absolute mark «0»; 2 – salt lake; 3 – dam; 4 – terraces; 5 – outline terraces cut mining operations; 6 – the low (first) flood-plain; 7 – the high (second) flood-plain; 8 – the first terrace; 9 – the second terrace.

Таблиця 1. Зведені дані по наземних свердловинах, які використано при створенні елементів інтегральної геологічної моделі Солотвинської структури

Table 1. Summary on ground wells used to create the elements of integrated geological model of Solotvynska structure

Роки розвідувальних робіт	Тип свердловин	Середня глибина, м	Номери	Кількість свердловин		Посилання
				Загальна	що розкрили поверхню соляного штоку	
1922-1925	Розвідувальні	318	H1/1925-H7/1925	7	5	Елизаров, 1955
1926-1927	Гідрогеологічні	15,9	RII/1/1927-RII/25/1927	25	-	
1926	Гідрогеологічні	21	R I/1926 – R VI/1926	6	-	
1923-1929	Розвідувальні	55,7	R1/1929-R49/1929	49	28	
1927-1928	Гідрогеологічні	22,2	q1/1928-q11/1928	11	2	Елизаров, 1955
1932-1934	Гідрогеологічні	32,6	P1/1927-P20/1927	20	3	Елизаров, 1955
1933-1934	Гідрогеологічні	45,1	I1/1934, I3/1934, Y1/1934, M1/1932-M3/1932, RF1/1934-RF2/1934	8	6	
1938	Гідрогеологічні	39,4	R1/1938-R37/1938	37	10	
1934	Гідрогеологічні	18	M1/1934-M5/1934	5	-	
1942	Гідрогеологічні	35,05	I/1942 – XVIII/1942	18	18	
1942	Гідрогеологічні	15,5	1/1942 – 54/1942	44	37	
1948-1949	Гідрогеологічні	7	R1/1948 – R11/1948	11	2	
1948-1949	Розвідувальні	259	H8/1948, H9/1948	2	2	
1954-1956	Розвідувальні	266,84	10/1957-56/1957	46	45	Васильев, 1957
1954-1956	Гідрогеологічні	29	g-1/1957 – g-67/1957	67	11	Васильев, 1957
1967-1970	Розвідувальні	508,45	1001/1979-1043/1979	8	8	Шупиков, 1970
1971-1973	Гідрогеологічні	13,21	57/1970-64/1970	43	15	Шупиков, 1970
1980-1982	Інженерно-геологічні	48,7	1C/1982-11C/1982	11	11	Солошенко, 1982
1980-1982	Інженерно-геологічні	7,9	1/1982-38/1982	38	-	Солошенко, 1982

сових потоків, озера, болота (рис. 3 на вкладці). Завдяки даним зйомки та спостережень різних років аналіз моделі дає змогу оцінити динамічні аспекти, баланс рельєфу та ін., що є інструментом прогнозу.

Геоморфологічні особливості території (рис. 1, 3) визначаються розташуванням родовища у Солотвинській улоговині, яка має абсолютні відмітки 200-600 м, терасово-скидові вододіли. Градієнти та ухили потоку поверхневих вод в районі родовища визначає перевищення у 158 м, зумовлене перепадом висот від Магурської гряди з абсолютними відмітками 390-400,8 м до 257-295 м в районі родовища та 250-252 м у заплаві р. Тиси. У долині р. Тиси в Солотвинській западині виділя-

ють дві заплавні тераси: низьку (1-2 м) та високу (3-5 м); відклади представлені галечниками, гравієм, пісками, супісками, суглинками та намулами, потужність від 1-3 до 15 м. Перша надзаплавна тераса (6-8 м) складена переважно галечниками з чіткою косою та діагональною шаруватістю потужністю 3-5 м. Друга в межах родовища майже не проявлена. Третя та четверта тераси складені галечниками, гравієм, пісками, суглинками, глинами та намулами потужністю від 2-3 до 15 м. (Елизаров, Елизарова, 1955; Природа ..., 1981).

Гідрологічні елементи представлені болотами, озерами, струмками (найбільші з них Ізвор, Глод, Млинський, Банський, Малий Солотвино); їх

діяльність є одним із факторів, що активізують карстування, карстово-суфозійні та ерозійні процеси.

Загальний поверхневий та приповерхневий (грунтовий) стік у р. Тису значно змінювався за останні сто років та визначається тимчасовим дренаванням шахтами, водовідливними шахтами, шурфами, спеціальними дренажними, іншими виробками, карстовими формами та підпором ґрунтових вод русловим потоком р. Тиса (насамперед під час паводку).

Як приклад застосування побудованих елементів геологічної моделі за результатами аналізу форм та динаміки рельєфу (рис. 3) можна зробити висновки про закономірне поширення розвитку карсту у південному та західному напрямках по лійці шахти № 7, стінках карстових воронок та по руслу Глоду. В той же час у рельєфі на першій надзаплавній терасі в центральній частині родовища (св. Н9/1946, I/42) чітко встановлюється підвищена ділянка поширення соленосних глин. На відміну від інших частин родовища це пласке підняття (абс. відмітки поверхні 294,37-295,5 м) з пологими схилами (ухил 0,2-3° в південно-східному та південному напрямках) не зазнавало активного поверхневого карсту.

Окремим елементом моделі поверхні є техногенні форми рельєфу, що утворилися в результаті санкціонованого та несанкціонованого видобутку кам'яної солі, галечника, глини, розсолів, роботи дренажних споруд, зокрема, відкачок розсолів та ґрунтових вод. У 2007-2010 рр. завдяки систематичним спостереженням за розвитком деформацій земної поверхні на території Солотвинського родовища підтверджено інтенсивні техногенні зміни рельєфу. Так, просідання земної поверхні в межах проммайданчика шахти № 9 за цей період сягали 70 мм на рік у 2007-2010 рр. (Педченко, 2012).

Моделі геоморфологічна, топографічна, рельєфу високої роздільної здатності є необхідними елементами інтегральної моделі Солотвинської структури, тому що поверхневі процеси (карст, ерозія, суфозія) визначатимуться навіть незначними градієнтами в рельєфі; моделі стануть основою підрахунків балансу рельєфу та інших прогнозів.

Тектонічні елементи моделі регіонального, субрегіонального та локального рівня

Оцінка техногенно-геологічних систем реалізується з урахуванням факторів та ризиків, пов'язаних не тільки з локальним, але й субрегіональним, регіональним рівнями.

З регіональним та субрегіональним рівнями пов'язані геодинамічні, сейсмічні, неотектонічні умо-

ви, палеомагматизм та ін., які визначаються положенням об'єкту в зоні колізії Євразійської та Паннонської плит в Закарпатському внутрішньому прогині (рис. 1, Солотвинська западина у його південно-східній частині). У верхній частині розрізу Солотвинської западини виділяються три лінії позитивних структур (Бокун, 1981; Китык и др., 1983). Центральна лінія генетично пов'язана з соляними дислокаціями. Зона проходить по лінії Данилово – Теремля – Сокирниця і складається з Данилово-Сокирницького виступу, Теремлянського і Солотвинського структурних блоків. Солотвинське підняття – крайня південно-східна структура центральної зони, склепіння та північне крило якої знаходиться на території українського Закарпаття, а західне занурюється на території Румунії (Селячин и др., 1986 та ін.).

Прогин закладений на гетерогенному палеозойському та мезозойсько-палеогеновому фундаменті та приурочений до зони глибинних розломів карпатського (захід-північний захід – схід-південний схід) простягання, субширотного та субмеридіонального, які активні і протягом останніх 3 млн. років. На рис. 4 узагальнено дані різних років досліджень розломних зон різного рангу на субрегіональному та локальному рівнях. Вони є зонами підвищеної проникності, можуть знаходитися у різному геодинамічному стані, їх треба дослідити та враховувати як при закладанні свердловин моніторингу, так і при оцінці ризиків.

Тектонічний елемент моделі локального рівня

В межах Солотвинського підняття за результатами геофізичних робіт та розвідувального буріння виділені основні поверхні донеогенового фундаменту підсолевого ложа, соленосних та перекриваючих порід (рис. 4), за результатами (Шакін, 2010; Русиняк, 2015). По поверхні донеогенового фундаменту встановлено повздовжні та поперечні розломи, по яких з різною амплітудою переміщені блоки.

В межах Солотвинського підняття виділяється дві антиклінальні складки: Дібровська і Солотвинська. З останньою пов'язане однойменне родовище вуглеводнів. Солотвинське родовище кам'яної солі розташоване в опущеному блоці на південь-південно-західному продовженні Дібровської та Солотвинської антикліналей (рис. 4).

За матеріалами сейсмічних досліджень та глибокого буріння по покрівлі грушівської світи палеогену, новоселицької світи та нижньотеремлянської підсвіти неогену (міоцен, середній баденій) Солотвинська складка представлена брахіантикліналлю північно-західного простягання (Шакін, 2010; Русиняк, 2015). Від прилеглих Дібровської і

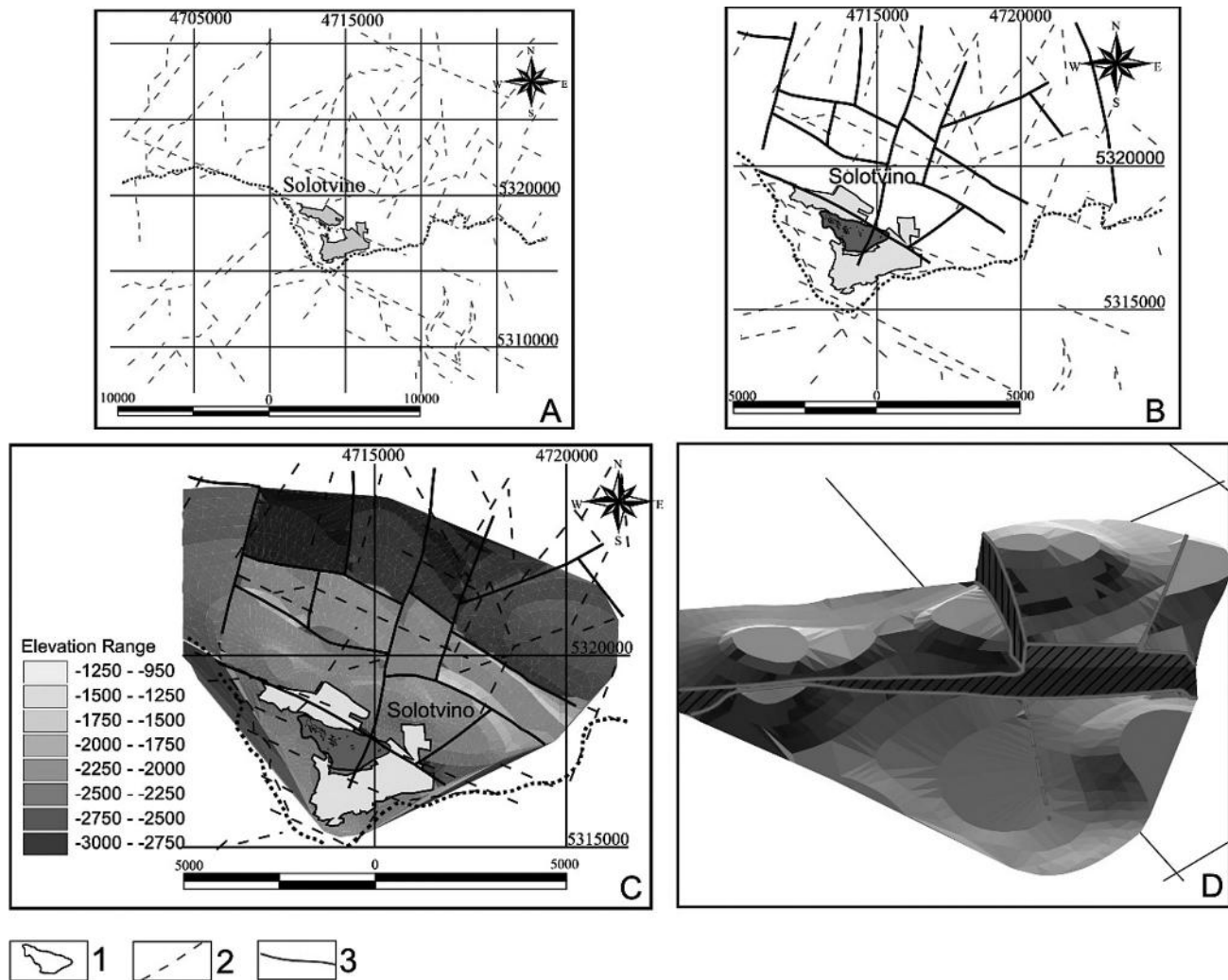


Рис. 4. Узагальнені дані по системах розломів та геодинамічній ситуації в районі Солотвинської солянокупольної структури (за Кудла та ін., 2007 взято з Шакін, 2010, Привалов, Панова, 2008; Русиняк, 2015).

A – розломи за результатами структурно-тектонічного дешифрування (Привалов, Панова, 2008); B – розривні порушення за матеріалами геофізичних робіт (Кудла та ін., 2007 взято з Шакін, 2010); C – підшва кам'яної солі верхньотереблянської світи (відбиваючий горизонт N_1tb_1) за матеріалами геофізичних робіт (Кудла та ін., 2007 взято з Шакін, 2010, Русиняк та ін., 2015); D – деталізація підшви кам'яної солі (відбиваючий горизонт N_1tb_1) в межах Солотвинського родовища.

1 – контур соляного штоку по абсолютній відмітці «0»; 2 – розломи за результатами структурно-тектонічного дешифрування; 3 – розломи за матеріалами геофізичних робіт.

Fig. 4. Solotvyno salt dome structure faults system summary data and geodynamic situation (after Kudla et al., 2007, Privalov, Panova, 2008).

A – faults, according to the results of structural-tectonic interpretation (Privalov, Panova, 2008); B – faults, according to geophysical materials (Kudla et al., 2007); C – bottom of rock salt of Upper Tereblynska suite (reflecting interface N_1tb_1) according to geophysical materials (Kudla et al., 2007, Rusinyak, 2015); D – bottom of rock salt (reflecting interface N_1tb_1) within Solotvyno field in detail. 1 – salt dome outline in absolute level «0»; 2 – faults, according to the results of structural-tectonic interpretation; 3 – faults, according to geophysical materials.

Апшицької структур вона відокремлена системою поперечних і повздовжніх порушень. Всі виявлені порушення інтерпретовано як субвертикальні. На північному заході Солотвинська складка відокремлюється від зануреного Дібровського блоку скидом. За даними сейсморозвідки з південного сходу і південного заходу структура обмежена порушеннями різної амплітуди. За браком сей-

смічного матеріалу та пробурених свердловин, південно-західне крило недостатньо вивчене.

Надсолевий план за характером будови наближується до брахіантиклінальної складки з соляним ядром діапірового типу (Петрашкевич, Лозиняк, 1983). Потужність солі в штоку переважає 1500 м. Кути падіння порід солотвинської та тересвинської світ, які обрамляють шток, становлять

40-60°. Нахил бокових крил соляного масиву значно крутіший від кутів падіння вміщуючих порід. Порооди солотвинської та тересвинської світі (сірі, темно-сірі глини, вапняковисті мергелі, глинисті вапняки та вапняковисті пісковики з кальцитом) в районі родовища розділені трьома горизонтами дацито-ліпаритових туфів, із яких два простежуються по всій площі родовища. Вміщуючі породи перебивають соляне тіло у вигляді останців, один з яких потужністю 6 м був відкритий св. 29 в Затоні.

Важливим елементом моделі локального рівня є присутні у вміщуючих породах розломи різного рангу (рис. 4).

Наприклад, у східній частині родовища св. 13г, 27г, 41г встановлено пісковики міцні окварцовані, тріщинуваті, піритизовані з підвищеною обводненістю, що свідчить про близькість тектонічного порушення (Іванов, 1947). Вміщуючі породи відрізняються інтенсивною тріщинуватістю. Переважають тріщини під кутами 30-40°, рідше 60-75°. В західній та верхній східній водовідливній штольнях, які пройдено по контактах солі з вміщуючими породами, спостерігаються розривні порушення з чіткими площинами ковзання, сильно перем'яті та подрібнені (Іванов, 1947).

Системи тектонічних порушень встановлені в різних частинах Солотвинської структури. Лінія тектонічного порушення чітко простежується у частині родовища, яке відкрито Тиса-штольнією та фіксується виходом напірних вод. Диз'юнктивне порушення перетинає Чорний Мочар на ділянці розвідувальної св. 11/1957 та св. g-54/1957. Ще одне порушення проходить північніше водовідливної шахти VII, де воно фіксувалося за виходом напірних

вод у підшві дренажного штреку. Тектонічне порушення проходить і у північній частині Затону в напрямку св. g-33/1957 та g-37/1957, де було встановлено підвищену обводненість корінних порід св. g-65/1957, яка відкрила зону дроблення. По цій зоні фіксується зміщення порід за розрізами св. R18/1926 та g-65/1957. Свердловина R18/1926 на гл. 47,2 м відкрила туфи, які не встановлено у св. g-65/1957. У південній частині родовища також прогноуються тектонічні порушення. Е. Шнабель (1924) зазначав, що св. H5/1925 на гл. 432 м підсікла зону тектонічних порушень, з якою пов'язано прояв напірних вод. З їх розвантаженням наразі можливо пов'язане існування прісного озера.

Диз'юнктивні порушення суттєво впливають на гідрогеологічні та інженерно-геологічні умови і мають бути вивчені, їх також треба враховувати при закладанні свердловин моніторингу.

Елемент моделі: соляне ядро Солотвинської структури

Солотвинська структура є діапировою дисгармонійною складкою з відкритим ядром протикання, яке розкрито численними буровими свердловинами, експлуатаційними та водовідливними шахтами, а також карстовими воронками.

Форма поверхні соляного ядра, зона контакту з вміщуючими породами та внутрішня його будова є предметом детальних досліджень. Ядро Солотвинської структури (рис. 5, 6 на вкладці) складене утвореннями верхньотереблянської світи (міоцен, баденій) та представлене кам'яною сіллю, з прошарками та лінзами глин, аргілітів, зрідка алевролітів та пісковиків (Андрєєва-Григорович та ін., 2009). Тере-

Рис. 5. Соляне ядро Солотвинської структури.

A – модель поверхні соляного ядра; B – розміри соляного ядра по абсолютній відмітці «0».

Fig. 5. The salt core of Solotvyno structure.

A – Salt core surface model; B – Shape and size of the salt dome on absolute level «0».

Рис. 6. Літологічна модель внутрішньої будови Солотвинської структури.

A – елемент літологічної моделі південно-західної частини Солотвинської структури; B – ерозійні форми на деградованій поверхні соляного ядра в межах 8 розвідувальної лінії.

1 – тереблянська світа, кам'яна сіль біла, NaCl ≥ 98,2%; 2 – тереблянська світа, кам'яна сіль біла, світло-сіра, NaCl ≥ 97,5%; 3 – тереблянська світа, кам'яна сіль світло-сіра та сіра, NaCl ≥ 97,0%; 4 – тереблянська світа, кам'яна сіль сіра, землиста, NaCl < 97,0%; 5 – тереблянська світа, теригенні породи: глини, аргіліти; 6 – солотвинська світа, ритмічне перешарування аргілітів, пісковиків, туфів, тріщинуватих; 7 – четвертинні відклади, валунно-галечникові відклади та глина темно-сіра «палаг».

Fig. 6. Lithological model of internal tectonic of the Solotvyno structure.

A – lithological model element of the Solotvyno structure southwestern part; B – degradation of surface salt core within 8 exploration section.

1 – Tereblianska suite, white rock salt, NaCl ≥ 98,2%; 2 – Tereblianska suite, white and light gray rock salt, NaCl ≥ 97,5%; 3 – Tereblianska suite, alternating of light gray and gray rock salt, NaCl ≥ 97,0%; 4 – Tereblianska suite, gray and earthy rock salt, NaCl < 97,0%; 5 – Tereblianska suite, clays and mudstones; 6 – Solotvynska suite, alternating of siltstone mudstone, sandstone and tuff; (a – dense, b – fractured); 7 – Quaternary sediments, alternating of boulder-gravel beds and clay of «palah».

блянська світа згідно з розрізом Данилівської опорної свердловини поділяється на дві літологічно відмінні частини: нижню – теригенну та верхню – галогенну, які відповідно називаються нижньотереблянською і верхньотереблянською підсвітами.

На ділянках нормального залягання соляної формації за літологічними ознаками верхньотереблянська світа поділяється на три горизонти: нижній – чистої крупнокристалічної безбарвної солі з домішками глинистого матеріалу і ангідриту (товщина горизонту біля 50 м); середній – шаруватих засолених глин (товщина його біля 100 м) та верхній – чистої кам'яної солі.

В нижній частині горизонту, яка досягає в Солотвино 100 м у товщину, сіль сірого кольору з прошарками (25-45 см) білої, а також прошарки (5-6 см) ангідриту з включеннями гіпсу. Зрідка зустрічаються деформовані прошарки, лінзи і блоки сірих соленосних глин товщиною від кількох сантиметрів до 4-6 м. Глини сірі, вапняковисті, сильно слюдисті, сланцюваті і шаруваті, іноді з рослинним детритом. У верхній частині горизонту (видима товщина 60-80 м) сіль чиста, біла, містить мінімальний домішок глинистого матеріалу та ангідриту. Сіль цього горизонту, що залягає в крайових частинах соляного тіла, розроблялася шахтами № 8 і 9. Товщина верхньої пачки складає приблизно 250-300 м, а товщина всієї верхньотереблянської світи оцінюється у 450-500 м. Ця товщина характеризує соляну товщу в пластовому заляганні, а у солянодіапірових структурах вона перевищує 1000 м. Як відомо, пробурена в Солотвино у соляному штоці свердловина на глибині 1210,6 м з солі не вийшла (Китык и др., 1983 та ін.).

Падіння соляних порід під вміщуючі породи мінливе. Аналіз моделі поверхні соляного тіла до абсолютної відмітки -150 м показує, що кути занурення північного крила змінюються від 20 до 60°, до 70 % поверхні мають кути 50°, південне крило структури крутіше, з кутами від 50° до 90°, і навіть до від'ємних. Західне і східне замикання соляної структури також вивчено недостатньо. Крутість покрівлі соляної товщі на цих ділянках не перевищує 20-50°.

Контакт південного крила структури з вміщуючими породами на сході в межах поля шахти №8 субмеридіональний, має дугоподібну форму, вигнуту на південь та південний захід. Проте достовірність побудов по крилах південно-західної частини структури низька, для її підвищення потрібні геолого-розвідувальні роботи. В розробленій моделі на ділянках з недостатніми або відсутніми да-

ними в якості апріорної інформації використано побудову поверхні соляного тіла за попередніми дослідженнями (Шупиков и др., 1970).

На рис. 5 представлено один із ракурсів візуалізації загальної моделі поверхні соляного ядра. Під алювіальними відкладами довжина довгої осі купола сягає 1835 м, короткої – 713 м, площа 88049,33 м²; на відмітці -81 м – 2900 м на 1100 м та 2045791,5 м² відповідно. Форму Солотвинської структури в плані традиційно описували як грушоподібну (наприклад Иванов, 1947 та ін.). Наші роботи показали, що по нульовій відмітці структура має форму трапеції з округлими кутами та довгою північною стороною під схилом г. Магури. Особливості морфології відбивають відмінності у будові західної та східної частин. Західна частина має видовжену форму з орієнтуванням довгої осі за карпатським простяганням. Східна – округла, а її довша вісь орієнтована на північний схід.

Зона бокового контакту солі і вміщуючих порід – інший елемент, що потребує детальних досліджень. Вона має тектонічну природу, ускладнена гіпогенними та екзогенними процесами, має зони подрібнення, брекчіювання, тріщинуватості та ін. і являє собою потенційні та вже реалізовані шляхи міграції підземних та поверхневих вод. Як відомо, затоплення шахти №9 відбулося зокрема і в результаті розвитку бокового карсту з північно-східного краю структури. Крім цього, описано численні водопріпливи і в інших частинах структури. Водопріплив у шахту № 8 знаходився у західній частині рудника над камерами верхнього експлуатаційного горизонту (напроти камери VII), де з глибокої щілини в ґрунті короткого квершлагу довжиною 8-9 м виділявся розсіл. Водопріплив солоної води з зони контакту соляного тіла з боковими породами також спостерігався у східній камері VIII верхнього горизонту. На профілі №8 (рис. 6) показано поширення тріщинуватості у тілі структури. У виробках шахти № 8, які було пройдено по контакту між соляним тілом та боковими вміщуючими породами, спостерігалися численні каверни, які проникають глибоко в середину соляної товщі і є результатом впливу навколосольових вод на соляне тіло (Иванов, 1947, Солошенко, 1982 та ін.).

Елемент моделі: поверхня соляного ядра Солотвинської структури

Поверхня ядра солянокупольної структури характеризується розчленованістю (див. рис. 3, 5, 6). Вона сформувалася в результаті ерозійної

діяльності р. Тиса, вод алювіальних утворень терас, дрібних струмків та атмосферних опадів, новітніх неотектонічних рухів. Рельєф поверхні солі має абсолютні відмітки, що змінюються від 187 до 285 м. Найвищі відмітки в районі шахти № 7 та «Старий Людвіг»; найнижчі в районі старих покинутих шахт, нижче поверхні I надзаплавної тераси.

Попередніми роботами (Шупиков, 1970 та ін.) закартовано гідравлічні вікна на півночі від шахт «Кунігунда-Миколай», у 100 м на північний захід від шахти «Кристина» та у районі Затону (західна частина структури). Крім того, такими вікнами зараз є ділянки несанкціонованої техногенної діяльності, аварійні шахти, карстові поля. Найбільша природна улоговина по поверхні соляного штоку у східній частині була відома як болото Чорний Мочар (відмітка покрівлі солі – 178 м). Її поперечний розмір у 70-х роках сягав 150-200 м (Шупиков и др., 1970). Наразі розмір провалля збільшився.

Внутрішня будова ядра Солотвинської структури (рис. 6) дисгармонійно-складчаста, блоково-лінзова, представлена чергуванням прошарків та лінз чистої кам'яної солі, кам'яної солі з різним вмістом водонерозчинного залишку, пластів, шарів, лінз та блоків внутрішньосолевих теригенних, соляно-теригенних та брекчійованих прошарків. Внутрішня будова структури характеризується присутністю ізоклінальних та дисгармонічних складок, пластичних та розривних деформацій, які мають бути враховані при розробці тектонічного елементу моделі.

Шари соленосних теригенних порід, які є в товщі кам'яної солі, залягають узгоджено з останньою, наслідуючи основні зміни у простяганні та падінні шарів солі. Але первинна седиментаційна будова шарів теригенних порід сильно порушена. В процесі галотектонізму вони зазнали будикування, роздроблення на окремі, різні за розмірами, фрагменти та блоки, які дещо зміщені в пластичній масі кам'яної солі відносно один одного (Шехунова, 2001, 2003). Проміжки між ними заповнює перекристалізований кристалічно-зернистий або вторинний волокнистий галіт. Кам'яна сіль в процесі галотектонізму зазнавала переважно пластичних деформацій та перекристалізації, а шари жорсткіших теригенних порід при цьому не тільки зім'ялися у складки, а й дробилися, розривалися на частини. Співвідношення між шарами кам'яної солі і теригенних порід та вказаний різний прояв в них тектонічних пору-

шень особливо чітко проявляється в складчастих структурах, в будові яких беруть участь породи різної компетентності – прошарки глин, глинистих, мергелистих порід та пісковики, присутні в товщі кам'яної солі.

Значну кількість потужних прошарків теригенних порід описано між шахтами №7 та 8, які відкрили квершлагги на горизонтах 113,7 та 231,9 м. Встановлена потужність зони теригенних порід сягає тут 100-110 м. В цій товщі встановлено 4 шари соленосних глин потужністю 8-30 м. Для цієї зони характерні тріщини та розриви, які розбивають їх на окремі брили та блоки, що створюють по суті тектонічну брекчію з прожилками вторинного волокнистого галіту та численними дзеркалами ковзання, про що зазначено, зокрема, у звіті Іванова (Іванов, 1947). При формуванні структури змінання соляної товщі відбувалося як у вертикальному, так і горизонтальному напрямках. Для складок характерно збільшення потужності шарів в замках. В приконтативній зоні соляного тіла з вміщуючими породами та на ділянці соляного тіла, відкритого виробками шахти «Старий Людвіг», крила та замки складок, порівняно з іншими ділянками, найбільш сильно ускладнені складчастістю другого порядку.

Шари солі в ядрі структури мають складну складчасту будову, представляють брахіантиклінальні і брахісинклінальні складки другого, третього і т.д. порядку. Давні фото та описи виробок свідчать, що для більшості складок характерні різкі перегини шарів в замках, які завдяки цьому у вертикальному перетині мають вигляд гострих клинів або пік. Складки зазвичай мають ізоклінальну будову, внаслідок чого витримується падіння товщі солі на окремих ділянках в одному напрямку. Дрібна додаткова складчастість такого ж характеру спостерігається на крилах більших за розміром структур.

При побудові моделі внутрішньої будови солянокупольної структури (рис. 6) враховано і дані по умовах залягання соляної товщі на ділянці виходів її на денну поверхню в районі старих соляних рудників, які наведено у звітах (Елизаров, Елизарова, 1955). Тут спостерігаються складки із основним простяганням шарнірів з південного сходу на північний захід і з падінням крил на північний схід 55° та південний захід $210-220^\circ$ під кутом $60-75^\circ$.

Гідрогеологічний елемент моделі

Гідрогеологічні умови території родовища вивчаються вже понад 200 років (Ф. Вунтско, Кобза, Е. Шнабель, 1924; Ф. Ченек, 1932; С.М. Корнеєвський, Іванов, 1947; Н.І. Римарь, Соколовський,

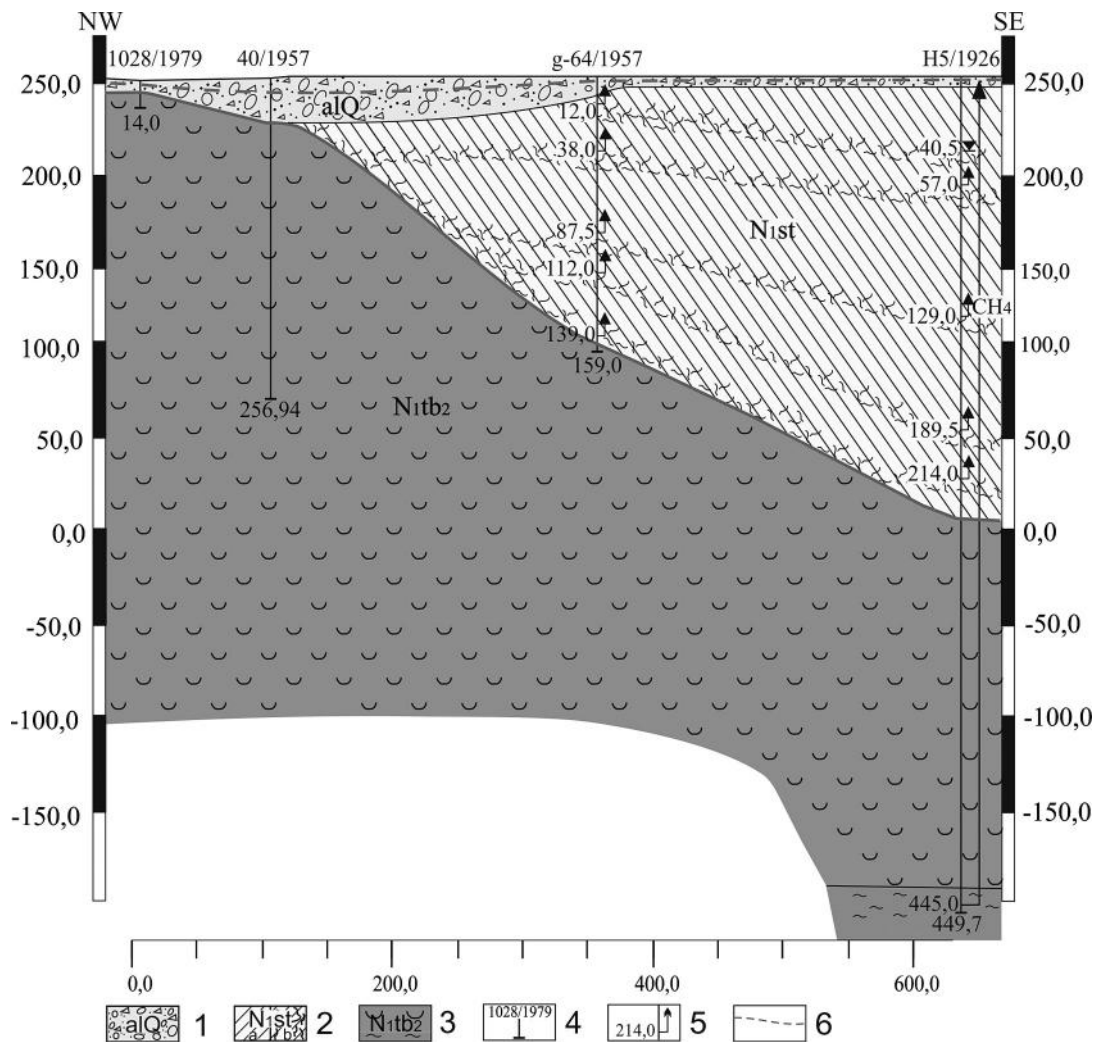


Рис. 7. Гідрогеологічна схема південного схилу центральної частини Солотвинської солянокупольної структури. 1 – четвертинні відклади, валунно-галечникові відклади; 2 – солотвинська світа, перешарування аргілітів, пісковиків та туфів (а – щільні, b – тріщинуваті); 3 – тереблянська світа, кам'яна сіль з прошарками аргілітів, пісковиків; 4 – свердловина, її номер та рік буріння; 5 – глибина розкриття тріщинних напірних вод солотвинської світи; 6 – рівень ґрунтових вод.

Fig. 7. Hydrogeological scheme of the Solotvyno salt anticline (southern slope of central part).

1 – Quaternary deposits, boulder-gravel beds; 2 – Solotvynska suite, alternating of siltstone, sandstone mudstone and tuff (a – dense, b – fractured); 3 – Upper Tereblianska suite, alternating of rock salt with clasts of marls and clays; 4 – borehole, its number and year; 5 – depth disclosure fracture confined aquifer Solotvynska suite; 6 – ground-water level.

1947; А.Ф. Єлізаров, 1950; Сазонов, Римарь, 1952; І.Н.Васильєв, 1957; І.П. Коросташовець, 1957; Ніколішин, 1968; А.Р. Шупіков, 1970; В.М. Ташці, 1970; М.В. Фролов, 1971; М.І. Селянчин, 1986, 1992, Л.П. Босевська, Д.П. Хрущов, 2011 та ін.).

Гідрогеологічні умови родовища визначають надсолівні (горизонти квартера), навколосолівні (солотвинська та тересвинська світи), внутрішньосолівні (верхньотереблінська підсвіта, наразі це переважно техногенно карстові води затоплених гірських виробок) та підсолівні води.

Гідрогеологічні особливості родовища описано в низці звітів (Коросташовець, 1957; Фролов, 1973; Піталенко, 2008; Привалов, Панова, 2008; Тиркель

и др., 2009 та ін.), проте у зв'язку зі зміною гідрогеодинамічної та гідрогеохімічної ситуації вони потребують дослідження та уточнення для побудови сучасної гідрогеологічної моделі з елементами середньострокового та довгострокового прогнозу.

Аналіз фондів матеріалів показує, що гідролого-гідрогеологічні умови на родовищі останніми десятиліттями суттєво змінювалися. Так, у 1953 р. затоплення шахти № 7 призвело до переорієнтування потоків підземних вод, які дренувалися у шахтні виробки. На 1995 р. рівень підземних вод на цій частині родовища був на відмітці верхнього горизонту затопленого рудника № 7 (+274,60 м), а в районі ділянки Затон – 257-256 м. Під час затоплення у 2008-2010 рр.

Таблиця 2. Основні експлуатаційні дані по шахтах Солотвинського родовища кам'яної солі
Table 2. The principal data on mines in Solotvyno rock salt deposit

Назва	Роки експлуатації	Рік ліквідації	Кількість експлуатаційних горизонтів	Абсолютна відмітка підшви, м	Кількість камер	Розміри камер, м			Висота стелени, м	
						довжина	ширина	висота		
Геологічних матеріалів та експлуатаційних даних не збереглось										
«Кристіна», №1	1778-1781									
«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		
	1799-1905	1908								
«Йосип», №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», «Хрушова»)	1809-1953	1955	2+1*	+129 +75,8	8	45-120	35	110	10-30	12-32
	1923-1953				8	45	13	40	20-40	12
Шахта №8 («Новий Людвіг», «Сталіна»)	1886-2006	2007	4+1*	+162,4 +100 -23 -81	8	50	25	39-40	35-45	40-60
					20	45-50	25	60	30-35	20
					20	40-130	20	65	30-35	20
					20	40-100	20	65	30-35	20
№ 9	1963-2008	2010	1	-81	18	55-315	15-20	68	30-35	

* – запроєктовані, але не побудовані експлуатаційні горизонти

шахти № 9 вона працювала як місцева дрена і збирала всі потоки надсолевих вод. Наразі гідродинамічна ситуація навколо шахти №8 потребує детального дослідження у зв'язку з прогнозуванням провалів в зоні дії її гірничих виробок.

Через складні гідрогеологічні умови родовища ще з початку XIX ст. було обрано стратегію перехвату прісних ґрунтових та підземних вод до їх потрапляння у зону контакту вміщуючих порід та соляного ядра Солотвинської структури. Водозахисні споруди, які існували на родовищі до останнього часу, є фрагментами частково реалізованого проекту чеського інженера Кобзи. Проте не всі ці споруди дійсно виконували свою функцію. Так, наприклад дамба, яка мала ізолювати частину родовища («Затон») від паводкових вод, через відсутність підземної гідрозавіси не виконувала і не виконує своїх функцій повністю. На моделі будови структури видно, що галечниковий горизонт створює гідравлічний контакт підземного потоку (підземний стік р. Тиса) з ядром солянокупольної структури (рис. 6, 7).

На водоносність суттєво впливають диз'юнктивні порушення, які ще недостатньо вивчені. Лінія тектонічного порушення чітко простежується у частині родовища, яка відкрита Тиса-штольнею та фіксується виходом напірних вод. Інше диз'юнктивне порушення перетинає Чорний Мочар на ділянці розвідувальної св. 11 та св. 54г. Ще одне порушення проходить північніше водовідливної шахти VII, де фіксується за виходом напірних вод у ґрунті дренажного штреку. Третє тектонічне порушення проходить у північній частині Затону у напрямку св. 33г та 37г, де було встановлено підвищену обводненість корінних порід у св. 65г, яка відкрила зону дроблення. По цій зоні фіксується зміщення порід за розрізами св. К-18 та 65г (св. к-18 на гл. 47,2 м відкрила туфи, які не встановлено у св. 65г). У південній частині родовища також прогноуються тектонічні порушення. Е. Шнабель у звіті «Про результати досліджень виконаних на Солотвинському родовищі» за 1924 р. зазначав, що св. Н-У на гл. 432 м і 445 м підсікла зону тектонічних порушень, з якою пов'язаний прояв напірних вод (рис. 7).

Гідрогеологічна модель має оцінити градієнти напорів та концентрацій, що створюються підпором вод заплавної тераси у розшарованому за щільністю горизонті мінералізованих вод навколо соляного ядра структури. Побудови мають враховувати, що фільтраційні властивості глинистих порід визначаються мінеральним складом глинистих мінералів (бентонітові глини розбухають в прісній воді більше, ніж в мінералізованій, а на-

трієві більше за кальцієві та ін.), гідрохімічними характеристиками водоносного горизонту (мінералізовані води фільтруються краще за прісні через нерозбухання глинистих частинок), проникність ґрунтів для прісної і солоної води різна.

Елемент моделі: техногенні об'єкти

Солотвинське родовище кам'яної солі розробляється з кінця XVIII ст. В північно-східній частині родовища є старі шахти «Кунігунда», «Миколай», «Альберт», «Кристина», «Йосиф», які припинили своє існування, будучи затоплені водою. Точних даних про розміри цих шахт не збереглося. Найбільші техногенні об'єкти – 9 шахт видобувних, водовідливні (шахти, шурфи, штольні), вентиляційні (стволи), старі дренажні споруди, дамба та ін. Основні експлуатаційні виробки представлено у таблиці 2. Всі шахти наразі затоплені або затоплюються (шахта № 8).

Термін служби перших шахт був досить обмежений і у більшості випадків визначався не стільки техніко-економічними передумовами, скільки гідрогеологічними факторами. В районі перших шахт було пройдено велику кількість дренажних штолень, загальна довжина яких складала більше ніж 4 км. Однак це не запобігло затопленню шахт. Водовідливні виробки, що мали у своїй основі невеликої потужності шар палагу або безпосередньо сіль, виявилися недовговічними і руйнувалися, активізуючи при цьому карстові процеси. Тільки з однією водовідливною шахтою XIII за весь час її експлуатації (11 років) за приблизними підрахунками було розчинено біля 10,000 м³ солі (Коросташовець, 1957; Иванченко, Сабов, 1967; Заяц, 1975).

В межах Солотвинського родовища пройдено понад 18 тис. м водовідливних споруд. З них в районі Затону та старих шахт – понад 6100 м (завалені до 1946 р.), в районі шахти № 7 – понад 1850 м (функціонували до 1955 р.), в районі шахти № 8 – понад 5800 м, в районі шахти № 9 – понад 1650 м, в західній частині родовища – понад 2600 м. Більшість водовідливних споруд закладено до 1940 р., а найбільш вдалу Тиса-штольнею – в 1904 р. На початок 1990-х років функціонувало близько 7000 м споруд (Селянчин, 1995).

Зрозуміло, що стан соляного масиву значно змінений в результаті розробки шахтами. Всі роки техногенний карст стимулювався водовідливною системою та відкачками водопривлів з шахт. В центральній частині штоку глибина деградації соляного масиву перевищує 200 м, а на затоплених шахтах визначається глибиною відпра-

цьованого простору. Детально мають бути оцінені ділянки виходу на поверхню крутопадаючих несоляних порід, які є потенційними шляхами проникнення поверхневих вод у соляне тіло. Карнизо-подібне залягання перекриваючих (вміщуючих) порід на північно-східному крилі, соляні карнизи та / або глибокі вимоїни карстового походження в північно-західній частині (рис. 6) – елементи будови поверхні, які в результаті розвитку бокового карсту можуть спровокувати масштабні зсуви.

Природним захисним бар'єром соляних порід ядра штоку деякі дослідники вважали глинисті елювіальні утворення (палаг) та насичені хлоридом натрію підземні води зони утрудненого водообміну. Проте аналіз геологічних матеріалів вказує на присутність лінз пісковиків, алеволітів в його будові, а також «вікон» природних та техногенних, в межах яких палаг взагалі відсутній (див. рис. 2). Крім того, проникність палагу суттєво зросла внаслідок техногенного впливу – негерметичності численних свердловин та шурфів, по яких надсольові прісні або слабо мінералізовані води потрапляють у соляну товщу (див. рис. 2). Наслідком цього є інтенсифікація процесів вилуговування солі та активізації соляного карсту, який раніше, у 1960-х роках, був розвинутий на площі 43 га, а на сьогодні охопив усю площу соляного штоку на ділянці виходу солей під четвертинні відклади.

Окремої уваги потребують дослідження газопроявів. У 1826 р. в шахті «Старий Людвіг» було встановлено притоки горючого газу за даними Е.В. Рипського (посилання №28 у звіті 1970 р. А.Р. Шупікова).

А.А. Івановим описано факт виділення горючого газу з товщі кам'яної солі в руднику №7 (Іванов, 1947). Місце виділення газу було у північно-східному кутку неглибокої виробки, розташованої над камерою I на верхньому експлуатаційному горизонті. Газ виділявся із щільної кам'яної солі. Його виділення почалося ще на початку 1900-х років. Тоді ж його підпалили. У 1946 р він горів, як пише А.А. Іванов «... жовто-голубим кольором рівномірно та незгасимо. Його легко було згасити, проте якщо піднести вогонь, то він легко займався».

За вибухонебезпечністю газу солерудник № 8 відносився до 1 групи (Селянчин, 1995).

У 1962 р. на північній ділянці структури в середній частині верстви ліпарито-дацитових туфів новоселицької світи на глибинах 1440-1530 м встановлено пластовий поклад вуглеводнів склепінного типу, тектонічно екранований з балансовими запасами 800 млн. м³.

З відкладами грушівської світи палеогену пов'язані два поклади газу з невизначеним промисловим значенням (Шакін, 2010, Русиняк, 2015 та ін.).

ВИСНОВКИ

Ситуація, що склалася на території ДП «Солотвинський солерудник» надзвичайна, неконтрольована, потребує термінового втручання з огляду на загрозу транскордонного забруднення.

Інтегральна цифрова геологічна модель Солотвинської структури запропонована як інструмент оцінки геоекологічного стану, визначення заходів з відновлення рівноваги в геологічному середовищі, аналізу та оцінки проектних технічних рішень щодо використання соляних ресурсів відповідно до сучасних європейських принципів збалансованого (сталого) розвитку – забезпечення нагальних потреб у ресурсах без ризику позбавлення майбутніх поколінь у забезпеченні їх потреб та без перекладання на майбутні покоління проблем, пов'язаних з наслідками розробки корисних копалин.

Виконано підготовчий та перший етап робіт з розробки моделі: створено базу даних та елементи комплексної моделі. Аналіз першої ітерації моделі свідчить про відсутність 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 існуючих інженерних споруд (зони впливу шахт, карстових провалів та ін.), що необхідно для створення першої черги системи моніторингу та прийняття невідкладних рішень для забезпечення безпеки населення.

Інтегральна геологічна модель має чотири інформаційно-організаційних рівня: об'єктовий (сукупність крупномасштабної інформації по техногенно-геологічним системам та геологічному середовищу, наприклад шахти, дренажні системи, інші інженерні об'єкти), локальний (геологічна модель Солотвинської солянокупольної структури), субрегіональний (геологічна модель Солотвинської антиклинальної структури з соляним ядром в центральній частині), регіональний.

З регіональним рівнем пов'язані геодинамічні, сейсмічні, неотектонічні умови, палеомагматизм та інші, які визначаються положенням Солотвинської солянокупольної структури в зоні колізії Євразійської та Паннонської плит в Закарпатському внутрішньому прогині. Прогин закладений на гетерогенному палеозойському та мезозойсько-палеогеновому фундаменті, приурочений до зони

глибинних розломів карпатського простягання, субширотного та субмеридіонального, які активні і протягом останніх 3 млн. років.

На субрегіональному рівні тектонічній будові Солотвинської западини притаманна блокова структура. На локальному рівні це зумовлює призсувний режим локального розтягнення. В умовах сучасної правосторонньої активізації зони зсуву та створення обстановки локального призсувного розтягнення (Привалов, 2008) – розущільнення масиву формуються специфічні умови для підйому – субвертикальної міграції напірних вод, зокрема, в крайових частинах соляного ядра з глибоких горизонтів родовища, що може стати ключовим фактором в гідрогеологічній моделі.

Загалом з геологічними умовами Солотвинської солянокупольної структури пов'язані наступні ризики: тектонічні (розгалужена мережа розломів різного рангу); неотектонічні (за результатами дешифрування космознімків встановлено вертикальні переміщення різного знаку та інші прояви неотектонічної активності); сейсмічні / геодинамічні (сейсмічність в западині значно нижча, ніж відповідає районуванню, що може свідчити про розущільненість порід в западині); розвантаження глибинних флюїдів; присутність низки об'єктів нафтогазоносності у підстелюючих відкладах; тепловий потік понад 100 мВт/м².

Аналіз достовірності моделі свідчить про необхідність виконання першочергових досліджень: зона бокового контакту соляного ядра і вміщуючих порід (наприклад, в північній частині зона контакту соляного ядра з вміщуючими породами ускладнена низкою розривних порушень; південне, південно-західне крило та західна перикліналь структури зазнають підпору прісних і слабомінералізованих вод, встановлено місця розвантаження прісних та / або слабомінералізованих

джерел); зона деградації поверхні ядра солянокупольної структури та ділянки з передумовами прямого контакту надсолевих водоносних горизонтів з ядром соляного тіла, які можуть бути як природними (виходи соляних порід), так і техногенними (ділянки покинутих шахт та іншої діяльності без належної ізоляції, свердловини та ін.); живлення Чорного Мочару. Для вирішення цих завдань доцільно виконати гідрохімічні та ізотопні дослідження, які допоможуть встановити джерело живлення, ступінь впливу підземних напірних навколосольових вод, відтворити механізми та ділянки розвитку палеокарсту.

Для отримання нової геологічної інформації щодо критичних елементів будови соляного тіла необхідно виконати комплекс геолого-геофізичних робіт: мікрогравіметричні та мікроесейсмічні дослідження, вертикальне електричне зондування, вивчення магнітного поля; для визначення активності розломних зон дослідити теплові потоки – кондуктивний (давня активізація) і конвективний. Потрібно також провести аналіз ізотопного складу гелію та водню для фіксації висхідного потоку флюїдів з метою вивчення розгалуженої системи розломів різного рангу (регіонального, субрегіонального, локального). Останні є зонами підвищеної проникності, які необхідно враховувати при закладанні свердловин моніторингу та інших рішень.

Аналіз елементів створеної моделі дасть змогу виявити та оцінити синергетичні ефекти в природно-техногенній системі, встановити градієнти гідравлічні, концентраційні та інші, що призводять до розвитку небезпечних геологічних процесів; сприятиме розбудові (відновленій) спостережної моніторингової мережі та інтегруванню отриманих результатів спостережень у базу даних та наступну ітерацію моделі.

REFERENCES

Aleksieienkova M.V., 2014. Lithological and hydrogeochemical features of the Lower Permian salt subformation of Slovianska brahianticline. Collection of Scientific works of the Institute of geological sciences NAS of Ukraine, vol. 7, pp. 52-63. (In Ukrainian).

Andriieva-Grigorovich A., 2009. Stratigraphy of Neogene deposits of the Transcarpathian foredeep, Geology and geochemistry of combustible minerals, No 2 (147), pp. 58-70. (In Ukrainian).

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

Bosevska L.P., Khrushchov D.P., 2011. Environmental emergency in Solotvyno: causes and geological problems solution

Алексєєнкова М.В. Літолого-гідрогеохімічні особливості зони гіпергенезу нижньопермської соленосної субформації в межах Слов'янської брахіантикліналі // Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України – 2014. – Том 7. – С. 52-63.

Андрєєва-Григорович А. Стратиграфія неогенових відкладів Закарпатського прогину / А. Андрєєва-Григорович, Л. Пономарьова, М. Приходько, В. Семененко // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2009. – No 2 (147). – С. 58-70.

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

Босевська Л.П. Надзвичайна екологічна ситуація в Солотвино: геологічні причини і стратегія розв'язання проблеми /

- strategy, Dnipropetrovsk University bulletin. Geology, geography, vol. 19 No3/2, pp. 80-90. (In Ukrainian).
- Vasilyev I.N., 1957. Report. Exploration of the Sotolvyno rock salt deposit in 1954-1956, Heoinform Ukrainy, inv. No 18253/1, vol. 1, 258 p. (In Russian).
- Elizarov A.F., Elizarova N.N., 1955. Report. Sotolvyno rock salt deposit (Geological exploration in 1948-1949), Heoinform Ukrainy, inv. No 14676, vol. 1, 71 p. (In Russian).
- Zaets H.N., 1975. Report. Reviews of geological exploration of mineral deposits. (History of discovery, research and exploration). Regional overview. Issue 40. Table salt, Heoinform Ukrainy, inv. No 37578/5, vol. 6, 37 p. (In Russian).
- Ivanov A.A., 1947. Report. Sotolvyno rock salt deposit (geological exploration 1946), Heoinform Ukrainy, inv. No 5572, vol. 1, 44 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), Heoinform Ukrainy, inv. No 28255, vol. 1, 212 p. (In Russian).
- Yosypenko T.M., 2014. Report. Integrated geophysical measurements of the karst in the territory of Carpathian and Transcarpathian, Heoinform Ukrainy, inv. No 64133, vol. 1, 257 p. (In Ukrainian).
- Kityk W.I., Bokun A.N., Panov G.M., Slivko E.P., Schaydietskaya W.C., 1983. Halogenic formations of Ukraine: Transcarpathian through, 168 p. (In Russian).
- Korolchuk L., 2009. Technical report. Complex geodesic researches of the Sotolvyno rock salt deposit central part with plan drawing 1:500. SE «Design Center», OJSC «Hirhimprom», 10 p. (In Ukrainian).
- Korostashovets Y.P., 1957. Report. Hydrogeological conditions of the Sotolvyno rock salt deposit, Heoinform Ukrainy, inv. No 18253/2, vol. 1, 251 p. (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).
- Pedchenko S.V., 2012. Sotolvyno salt mine flooding impact of the mining No 8 on the region surface, Modern resources and energy saving technologies in mining industry, vol. 1, pp. 113-123. (In Ukrainian).
- Petrashkevych M.Y., 1983. Report. Scientific substantiation of the oil and gas exploration directions in the Transcarpathian basin, UkrDHRF funds, 79 p. (In Ukrainian).
- 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
- А.П. Босевська, Д.П. Хрущов // Вісник Дніпропетровського університету. Серія: Геологія. Географія. – 2011. – Т. 19, вип. 13. – С. 80-90.
- Васильев И.Н. Отчет о детальной разведке, проведенной на Солотвинском месторождении каменной соли в Закарпатской области УССР в 1954-1956 гг. – Киев, 1957. – Геоинформ України, інв. No 18253/1 – кн. 1. – 258 с.
- Елизаров А.Ф. Солотвинское месторождение каменной соли. (Результаты детальной разведки 1948-1949 гг.) / А.Ф. Елизаров, Н.Н. Елизарова – Киев, 1955. – Геоинформ України, інв. No 14676 – кн. 1. – 71 с.
- Заец Г.Н. Обзоры геологической изученности месторождений полезных ископаемых. (История открытия, изучения и разведки). Региональный обзор. Выпуск 40. Поваренная соль. – Киев, 1975. – Геоинформ України, інв. No 37578/5. – кн. 6. – 37 с.
- Иванов А.А. Солотвинское месторождение каменной соли. (Отчет по работам 1946 г.). – Ленинград, 1947. – Геоинформ України, інв. No 5572. – кн. 1. – 44 с.
- Иванченко А.И. Отчет о геологоразведочных работах на Солотвинском месторождении каменной соли, проведенных в 1966-1967 гг. (доразведка эксплуатационного поля шахты No 8) / А.И. Ивченко, Ю.В. Сабов – Киев, 1967. – Геоинформ України, інв. No 28255. – кн. 1. – 212 с.
- Йосипенко Т.М. Комплексні геофізичні дослідження карстових явищ на території Прикарпаття та Закарпаття – Львів, 2014. – Геоинформ України, інв. No 64133. – кн. 1. – 257 с.
- Китык В.И. Галогенные формации Украины: Закарпатский прогиб / В.И. Китык, А.Н. Бокун, Г.М. Панов, Е.П. Сливко, В.С. Шайдецкая. – Киев: Наук. думка, 1983. – 168 с.
- Корольчук Л. Технічний звіт. Комплексні геодезичні вишукування центральної частини Солотвинського родовища кам'яної солі із складанням плану М 1:500. – ДП «Проектний центр», ВАТ «Гірхімпром», 2009. – 10 с.
- Коросташовец И.П. Гидрогеологические условия Солотвинского месторождения каменной соли в Закарпатской области УССР. – Киев, 1957. – Геоинформ України, інв. No 18253/2. – кн. 1. – 251 с.
- Лобасов О.П. Побудова та аналіз літологічної моделі нижньо-пермської соленосної формації Дніпровсько-Донецької западини засобами ГІС / О.П. Лобасов, Н.П. Сюмар, С.Б. Шехунова // Збірник наукових праць Інституту геологічних наук НАН України. – 2010. – Вип. 3. – С. 294-305.
- Педченко С.В. Вплив затоплення гірничих виробок шахти No 8 солотвинського солерудника на денну поверхню регіону / Сучасні ресурсозберігаючі технології гірничого виробництва. – 2012. – No 1. – С. 113-123.
- Петрашкевич М.Й. Наукове обґрунтування напрямків пошуково-розвідувальних робіт на нафту і газ в Закарпатському прогині / М.Й. Петрашкевич, П.Ю. Лозиняк – Львів, 1983. – Фонди УкрДГРІ. – 79 с.
- 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

of Solotvyno salt deposit and the impact of salt mines on the environment, Funds UkrNDMI, inv. No 2302, 59 p. (In Ukrainian).

Privalov V.A., Panova E.A., 2008. Geodynamic and hydrogeological regime features of the Solotvyno rock salt deposit (Transcarpathian internal trough), Scientific works of DonNTU, series mining geology, vol. 7(135), pp. 155-162. (In Russian).

Herenchuk K.I. (Ed.), 1981. Transcarpathian region nature, Vyshha shkola, Lviv St. University, 156 p. (In Ukrainian).

Rusynyak R.P., 2015. Report. Results of the prospecting drilling in Solotvyno area, Heoinform Ukrainy, inv. No 64855, vol. 1, 294 p. (In Ukrainian).

Selyanchin M.I., 1986. Report. Exploration of the North site Solotvyno rock salt deposit in 1977-1986, Heoinform Ukrainy, inv. No 49345, vol. 1, 210 p. (In Russian).

Selyanchin M.I., 1995. Report. Additional exploration deep horizons of mine No8 Solotvyno rock salt deposit in 1992-1995, Heoinform Ukrainy, inv. No 55852, vol. 1, 328 p. (In Ukrainian).

Soloshenko L.T., 1982. Report. Geotechnical surveys for the techno-working project in the area of expansion of the mine No9 Solotvyno rock salt deposit, Heoinform Ukrainy, inv. No 44825, vol.1, 49 p. (In Russian).

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).

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).

Tirkel M.G., Artemenko P.G., Pitalenko E.I., Pedchenko S.V., 2009. Geomechanical research as a method of studying man-made hydrodynamic regime in Solotvyno saltmine, Transactions of UkrNDMI of the NAS of Ukraine, vol. 5, part 1, pp. 124-130. (In Russian).

Frolov M.V., 1973. Report. Preliminary exploration of natural brines Solotvyno rock salt deposit in the 1971-1973, Heoinform Ukrainy, inv. No 35329, vol. 1, 83 p. (In Russian).

Shakin A.V., 2010. Report. Geological-economic appraisal Solotvyno gas field, Heoinform Ukrainy, inv. No 64855, vol. 1, 286 p. (In Ukrainian).

Shehunova S.B., 2003. Changes in the structural and textural features of the structure of salt rocks in the volumetric stressed state, Geological Journal, vol. 3, pp. 58-64. (In Ukrainian).

розробці Солотвинського родовища кам'яної солі і впливу діяльності соляних шахт на навколишнє природне середовище. – Донецьк, 2008. – Фонди УкрНДМІ, Інв. No 2302. – 59 с.

Привалов В.А. Особенности геодинамики и гидрогеологического режима Солотвинского месторождения каменной соли (Закарпатский внутренний прогиб) / В.А. Привалов, Е.А. Панова // Научные работы ДонНТУ Серия «Гірнично-геологічна». – 2008. – No7(135). – с. 155–162.

Природа Закарпатської області / За ред. К.І. Геренчука. – Львів: Вища школа. Вид-во при Львів. ун-ті, 1981. – 156 с.

Русиняк Р.П. Звіт за результатами пошукового буріння на Солотвинській площі. – Харків, 2015. – Геоінформ України, інв. No 64855. – кн. 1. – 294 с.

Селянчин М.И. Отчет о детальной разведке Северного участка Солотвинского месторождения каменной соли в Тячевском районе Закарпатской области УССР за 1977-1986 гг. / М.И. Селянчин, А.И. Иванченко, Л.Т. Габор. – Берегово, 1986. – Геоінформ України, інв. No 49345. – кн. 1. – 210 с.

Селянчин М.І. Звіт про результати дорозвідки кам'яної солі глибоких горизонтів в межах поля шахти No 8 Солотвинського родовища за 1992-1995 рр. Тячевський р-н Закарпатської області. – Берегово, 1995. – Геоінформ України, інв. No 55852. – кн. 1. – 328 с.

Солошенко Л.Т. Отчет об инженерно-геологических изысканиях для техно-рабочего проекта на участке расширения рудника No 9 Солотвинского солерудника в Закарпатской области УССР. – Ужгород, 1982. – Геоінформ України, інв. No 44825. – кн. 1. – 49 с.

Сюмар Н.П. Геолого-літологічні особливості верхньофранської соленосної формації девону Дніпровсько-Донецької западини // Збірка наукових праць Інституту геологічних наук НАН України. – 2012. – Вип. 5. – С. 119-125.

Сюмар Н.П. Методика застосування геоінформаційних технологій для побудови та аналізу геологічних особливостей соленосних формацій галотектокінетичного типу / Збірка наукових праць Інституту геологічних наук НАН України. – 2011. – Вип. 4. – С. 160-164.

Тиркель М.Г. Геомеханические исследования как метод изучения техногенного гидродинамического режима на территории Солотвинского солерудника / М.Г. Тиркель, П.Г. Артеменко, Е.И. Питаленко, С.В. Педченко // Научные работы УкрНДМІ НАН України. – 2009. – No 5, ч. 1. – С. 124-130.

Фролов М.В. Отчет о предварительной разведке естественных рассолов Солотвинского месторождения каменной соли за 1971-1973 гг. (Тячевский р-н, Закарпатской обл.) – Киев, 1973. – Геоінформ України, інв. No 35329. – кн. 1. – 83 с.

Шакін А.В. Геолого-економічна оцінка запасів газу Солотвинського родовища Закарпатської області. – Львів, 2010. – Геоінформ України, інв. No 64855. – кн. 1. – 286 с.

Шехунова С.Б. Изменения структурно-текстурных особенностей строения соляных пород в объемном напряженном состоянии /С.Б. Шехунова // Геологічний журнал – 2003. – No3. – С. 58-64.

Shehunova S.B., Lobasov O.P., Sukhomlyn N.P., 2006. Upper Jurassic rock salt formation model in the Dobrogean fore-deep: An analysis and interpretation using GIS technology, Collection of Scientific works of the Institute of geological sciences NAS of Ukraine: Contemporary trends in Ukrainian geological science, pp. 62-72. (In Ukrainian).

Shehunova S.B., 2001. About the «flow zones» in the halotectokinetic structures, Reports of NAS of Ukraine, vol. 3, pp. 132-136. (In Ukrainian).

Shehunova S.B., Lobasov O.P., 2001. Spatial statistical analysis of the tectonic dislocation systems of the Dnieper-Donets depression and its employment, Geology and geochemistry of combustible minerals, vol. 1, pp. 73-79. (In Ukrainian).

Shupikov A.R., Sabov Yu.V., Vasilev I.N., Tashi V.M., 1970. Report. Additional exploration in 1967-1970 of Solotvyno rock salt deposit (Transcarpathian region), Heoinform Ukrainy, inv. No 32263, vol. 1, 120 p. (In Russian).

Шехунова С.Б. Побудова та аналіз літологічної моделі верхньоярської солоносої формації Переддобрудзького прогину засобами ГІС / С.Б. Шехунова, О.П. Лобасов, Н.П. Сухомлин // Збірка наукових праць Інституту геологічних наук НАН України: Сучасні проблеми геологічної науки. – К., 2006. – С. 62-72.

Шехунова С.Б. Про «зони течії» у галотектонічних структурах / Доповіді НАН України. – 2001. – №3. – С. 132-136.

Шехунова С.Б. Просторовий статистичний аналіз систем тектонічних порушень Дніпровсько-Донецької западини та застосування його результатів / С.Б. Шехунова, О.П. Лобасов // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2001. – №1. – С. 73-79.

Шупиков А.Р. Отчет о доразведке в 1967-1970 гг. Солотвинского месторождения каменной соли в Закарпатской области / А.Р. Шупиков, Ю.В. Сабов, И.Н. Васильев, В.М. Таши – Берегово, 1970. – Геоинформ Украины, инв. No 32263. – кн. 1. – 120 с.

Manuscript revised 23 December 2014;
revision accepted 28 April 2016

Інститут геологічних наук НАН України,
Київ, Україна
shekhun@gmail.com

С.Б. Шехунова, М.В. Алексеенкова, С.Н. Стадниченко, Н.П. Сюмар

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СОЛОТВИНСКОЙ СТРУКТУРЫ КАК ИНСТРУМЕНТ ОЦЕНКИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СОЛОТВИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАМЕННОЙ СОЛИ

Солотвинское месторождение каменной соли – одно из крупных в Украине. С середины 1990-х годов на месторождении начали накапливаться проблемы, которые привели к опасной экологической ситуации техногенного характера, получившей статус чрезвычайной государственного уровня в 2010 г. Нарушение ландшафта, его деградация в результате неконтролируемого развития соляного карста, загрязнение поверхностных и подземных вод создают угрозу трансграничного загрязнения р. Тиса. Определение рисков и обоснование управленческих решений с целью минимизации последствий чрезвычайной ситуации должны базироваться на анализе ее причин. В статье отражены результаты анализа геолого-разведочных работ, сопровождавших освоение ресурсов каменной соли Солотвинской солянокупольных структуры; накоплено, структурировано и обработано многоуровневую разномасштабную геологическую информацию и создано иерархическую базу данных, которая была использована для разработки элементов первой итерации интегральной геологической модели Солотвинской структуры (модель земной поверхности, структурно-тектоническая, соляного ядра, гидрогеологическая, техногенной составляющей геологической среды). Построения выполнены с использованием ГИС-приложений по разработанному, адаптированному и усовершенствованному авторским методикам. Интегральная цифровая геологическая модель Солотвинской структуры предложена как инструмент оценки геоэкологического состояния, определения мер по восстановлению равновесия в геологической среде, анализа и оценки проектных технических решений для использования соляных ресурсов. Анализ первой итерации модели свидетельствует об отсутствии современной геологической информации о состоянии геологической среды не только для обеспечения достоверности модельных построений для всей Солотвинской солянокупольных структуры, но и для определения критических параметров геологической среды. Предложен комплекс геолого-разведочных работ для получения новой геологической информации и повышения достоверности построений.

Ключевые слова: Солотвинское месторождение каменной соли, геологическая модель, тектоника, гидрогеология, экологическое состояние.

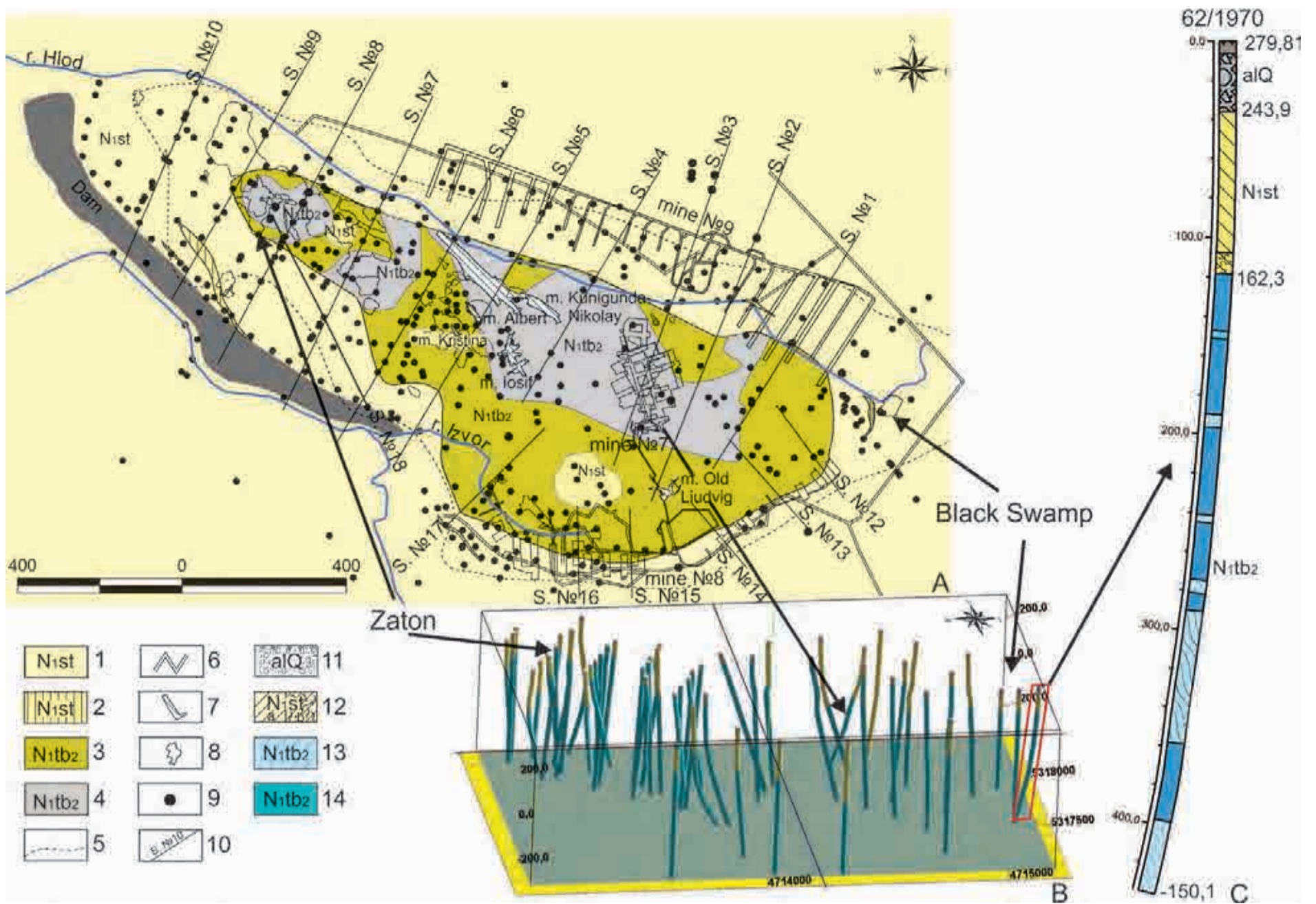


Fig. 2. Initial material scheme (boreholes).

A – geological map; B – multi-log 3D inclined boreholes; C – single log 3D borehole 62/1970

1 – Solotvynska suite, alternating: siltstone, sandstone mudstone; 2 – Solotvynska suite, alternating: tufts; 3 – Tereblianska suite, the rock salt output rod under alluvial deposits, rock salt is covered of clay («palah»); 4 – Tereblianska suite, the rock salt areas not covered of clay «palah» (hydraulic windows); 5 – outline salt dome in absolute level «0»; 6 – mine drainage; 7 – mines; 8 – salt lake; 9 – borehole; 10 – geological (Shupikov, 1970) and hydrogeological sections; 11 – quaternary sediments, alternating: boulder-gravel beds and clay («palah»); 12 – Solotvynska suite, alternating: siltstone mudstone, sandstone and, tuff; 13 – Tereblynska suite, alternating of rock salt, light gray and gray, NaCl > 97,0%; 14 – Tereblianska suite, alternating of rock salt gray, earthy, NaCl < 97,0%.

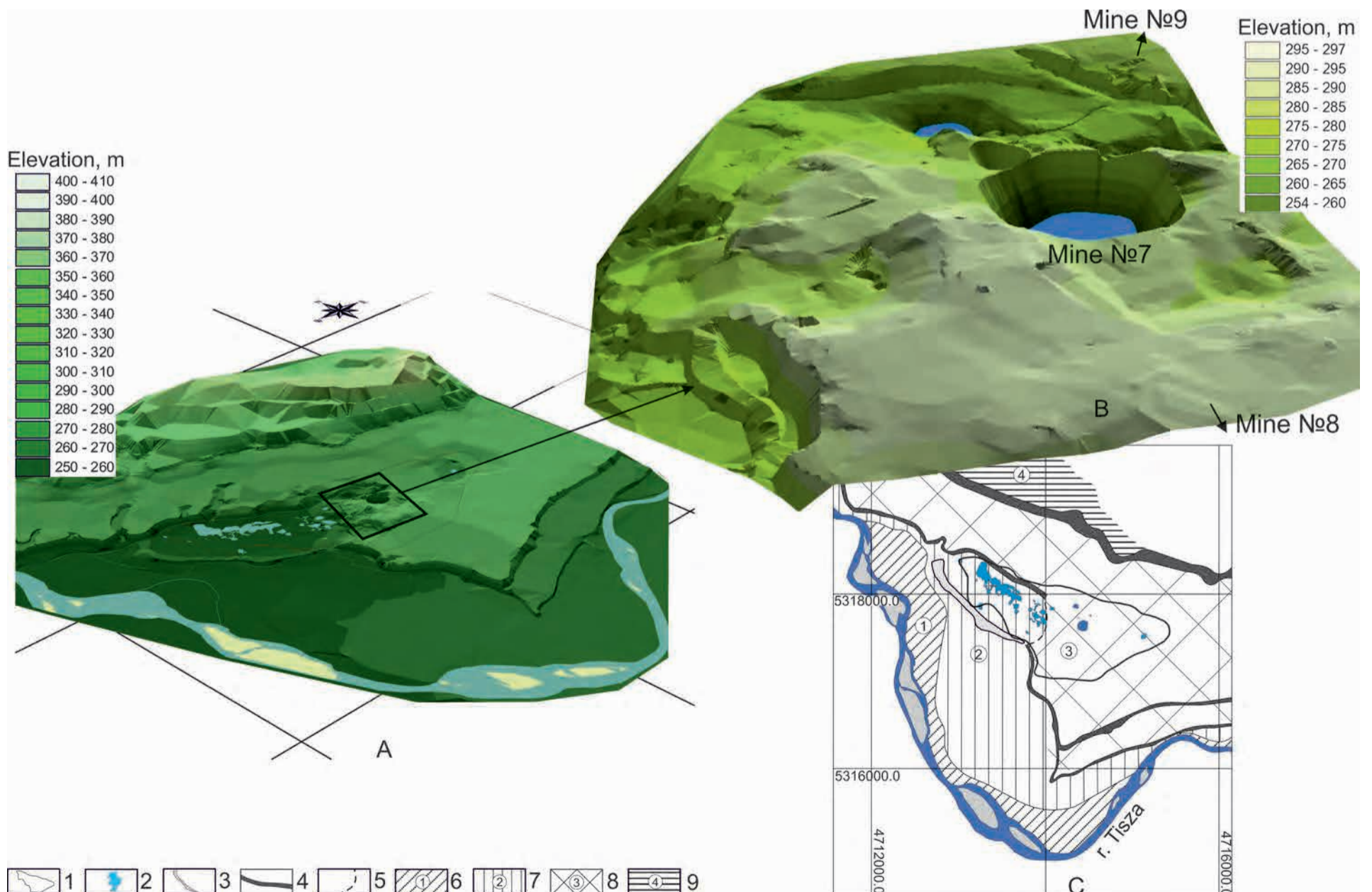


Fig. 3. Geomorphological model of the Solotvyno salt dome and the surrounding areas.

A – digital elevation model; B – degradation of the mine №7 relief (on materials plane surveying, 2009 (Korolchuk et al., 2009)); C – geomorphological scheme. 1 – outline of the salt dome in absolute mark «0»; 2 – salt lake; 3 – dam; 4 – terraces; 5 – outline terraces cut mining operations; 6 – the low (first) flood-plain; 7 – the high (second) flood-plain; 8 – the first terrace; 9 – the second terrace.

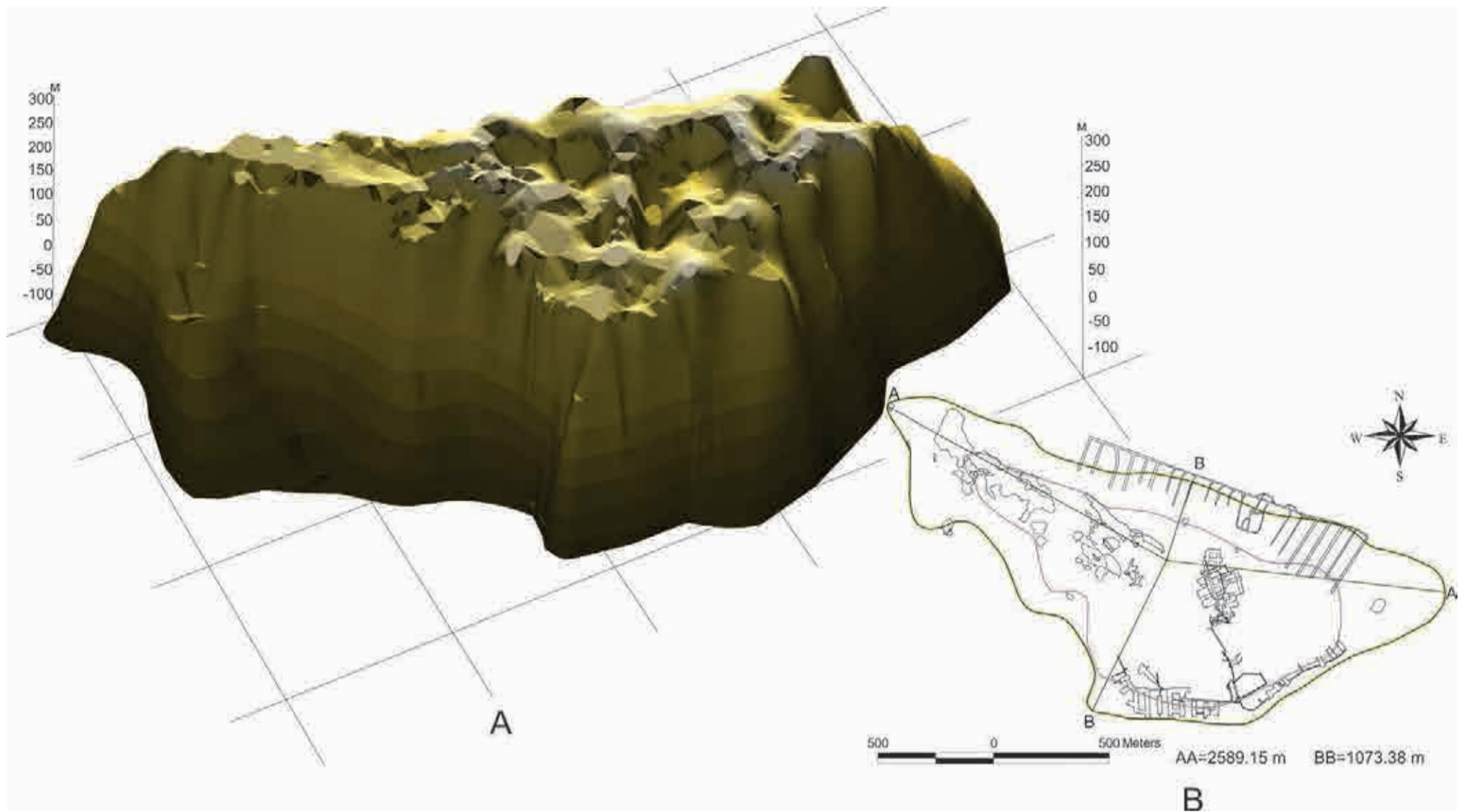


Fig. 5. The salt core of Soltvyno structure.
A – Salt core surface model; B – Shape and size of the salt dome on absolute level «0».

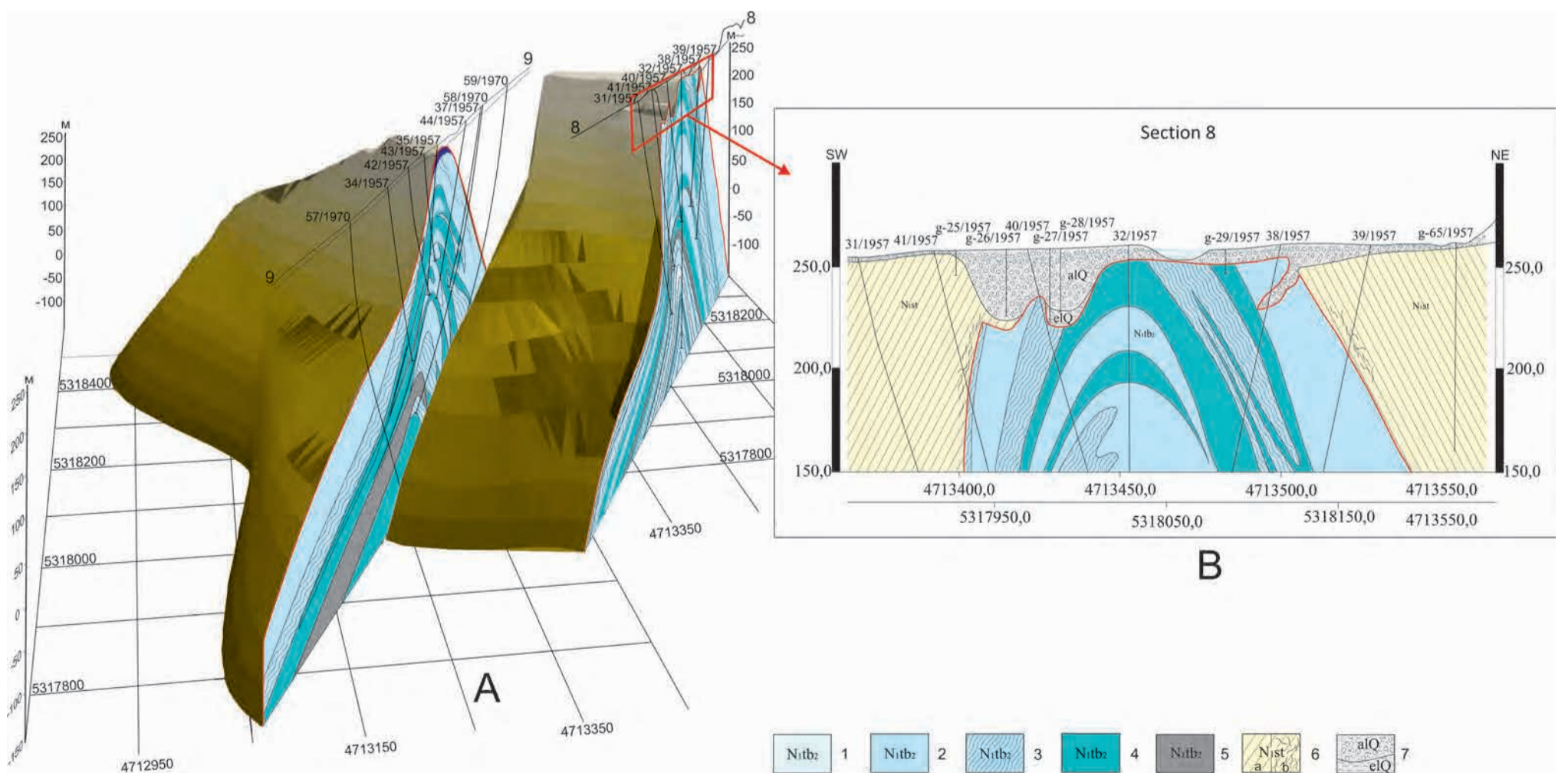


Fig. 6. Lithological model of internal tectonic of the Soltvyno structure.
A – lithological model element of the Soltvyno structure southwestern part; B – degradation of surface salt core within 8 exploration section.
1 – Tereblianska suite, white rock salt, NaCl ≥ 98,2%; 2 – Tereblianska suite, white and light gray rock salt, NaCl ≥ 97,5%; 3 – Tereblianska suite, alternating of light gray and gray rock salt, NaCl ≥ 97,0%; 4 – Tereblianska suite, gray and earthy rock salt, NaCl < 97,0%; 5 – Tereblianska suite, clays and mudstones; 6 – Soltvynska suite, alternating of siltstone mudstone, sandstone and tuff; (a – dense, b – fractured); 7 – Quaternary sediments, alternating of boulder-gravel beds and clay of «palah».