

Perspektywy rozpoczęcia eksploatacji złoża soli kamiennej Terebla w kontekście odbudowy górnictwa solnego na Zakarpaciu, Ukraina

Perspectives on the commencement of exploitation of the Terebla rock salt deposit in the context of the revival of salt mining in Transcarpathia, Ukraine

Jriy V. SADOVYI¹, Anatoliy R. GALAMAY², Krzysztof BUKOWSKI³

¹ State Institution State Scientific Research and Design Institute of Basic Chemistry (NIOCHIM), st. Myronosytska, 25, Kharkiv, Ukraine, 61002, e-mail: ysadovyi@gmail.com

² Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals, NAS of Ukraine, st. Naukova, 3A, Lviv, Ukraine, 79060, e-mail: galamaytolik@ukr.net

³ AGH University, Faculty of Geology, Geophysics and Environmental Protection, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Poland, e-mail: buk@agh.edu.pl

STRESZCZENIE

W artykule podkreślono znaczenie dokładnego rozpoznania budowy geologicznej złoża solnego przed rozpoczęciem jego eksploatacji. W przypadku złoża soli kamiennej w rejonie Terebli, analiza geologiczna i strukturalna wykazuje podobieństwa do innych znanych złóż w Polsce, Kazachstanie oraz Bośni i Hercegowinie, co jest kluczowe w kontekście planowania eksploatacji.

W złożu Terebli wykryto skomplikowaną strukturę tektoniczną, gdzie seria solna jest złożona w system fałdów różnego rzędu. Główne struktury to antykliny w północnej i południowej części złoża oraz synklina w centralnej części. Zrozumienie tej wewnętrznej budowy jest kluczowe zarówno dla eksploatacji podziemnej, jak i metody ługowania otworami wiertniczymi, która jest obecnie rozważana i wdrażana.

Przy planowaniu ługowania metodą otworową, zaleca się rozpoczęcie od jak największych głębokości. Konieczne jest także uwzględnienie prognozowanej budowy wewnętrznej złoża, litostratygrafii oraz tektoniki przy rozmieszczaniu otworów eksploatacyjnych, co ma na celu optymalizację procesu wydobywania i minimalizację ryzyka.

ABSTRACT

The article emphasizes the importance of accurately understanding the geological structure of a salt deposit before beginning its exploitation. In the case of the rock salt deposit in the Terebli region, geological and structural analysis reveals similarities to other known deposits in Poland, Kazakhstan, and Bosnia and Herzegovina, which is crucial for planning exploitation.

The Terebli deposit has been found to have a complex tectonic structure, with the salt series arranged in a system of folds of various orders. The main structures include anticlines in the northern and southern parts of the deposit and a syncline in the central part. Understanding this internal structure is essential for both underground exploitation and the solution mining method using boreholes, which is currently being considered and implemented.

When planning borehole leaching, starting from the greatest depths possible is recommended. It is also necessary to consider the predicted internal structure of the deposit, lithostratigraphy, and tectonics when positioning the production wells, aiming to optimise the extraction process and minimise risks.

Słowa kluczowe: sól kamienna, wysady solne, podziemne ługowanie, złoża tereblińskie

Keywords: rock salt, salt domes, underground leaching, Tereblia deposit

1. WSTĘP

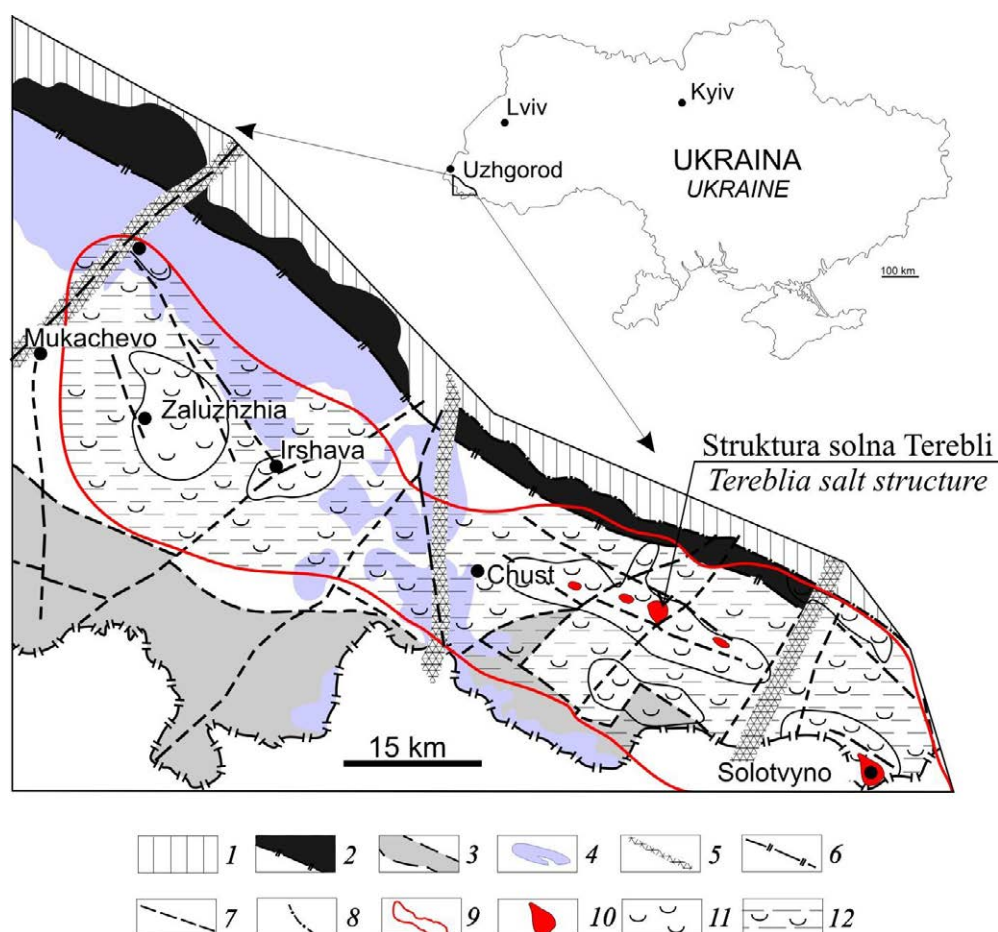
W ciągu ostatnich dekad zaopatrzenie Ukrainy w sól kamienną było związane z masowym wydobywaniem tego surowca w regionie Dnieprówsko-Donieckim (złoża Artemińskie). Po rozpoczęciu agresji Rosji na Ukrainę w 2022 roku i okupacji jej wschodnich regionów, Ukraina utraciła możliwość stabilnego zaopatrzenia ludności i przemysłu w sól kamienną oraz utrzymania należytego stanu dróg zimą. Pomimo potężnych zasobów (zapadlisko Dnieprówsko-Donieckie, rejon Karpat, region czarnomorski), potrzeby Ukrainy w zakresie zaopatrzenia w sól są obecnie praktycznie zaspokajane w całości przez import z innych krajów.

W ostatnich latach w regionie Karpat rozpoczęto prace nad zagospodarowaniem tereblińskich złóż soli kamiennej,

1. INTRODUCTION

In recent decades, Ukraine's supply of rock salt has been linked to large-scale extraction in the Dnieper-Donets region (Artemivsk deposit). However, with the onset of the Russian aggression against Ukraine in 2022 and the occupation of its eastern regions, Ukraine lost its ability to ensure a stable supply of rock salt for both the population and industry, as well as to maintain roads during winter. Despite having substantial resources (Dnieper-Donets depression, Carpathian region, Black Sea region), Ukraine's salt supply needs are now almost entirely met through imports from other countries.

In recent years, work has begun on the development of the Tereblińskie rock salt deposits located within the Solotvynsk depression in the Transcarpathian basin (Fig. 1). These



Ryc. 1. Tektoniczny schemat obniżenia zakarpackiego oraz rozmieszczenie w nim osadów solonośnych i terygeniczo-solonośnych (Kityk et al., 1983). Objasnienia: 1 – Karpaty fliszowe, 2 – północna strefa brzeżna (strefa głębokiego rozłamu zakarpackiego), 3 – południowa strefa brzeżna (strefa przypanonńskiego głębokiego rozłamu), 4 – Vihorlat Hutynski, grzbiet wulkaniczny wieku pliocen-plejstocen, 5 – poprzeczne uskoki I rzędu (transkarpackie), 6 – uskoki południowo-pienińskie, 7 – uskoki II rzędu, 8 – północno-wschodnia granica neogeńskich molas w zapadlisku sołotwińskim, 9 – zasięg badeńskiej formacji solonośnej, 10 – wysady solne, 11 – kompleks solonośny, 12 – kompleks terygeniczo-solonośny.

Fig. 1. Tectonic schematic of the Transcarpathian depression and the distribution of salt-bearing and terrigenous-salt-bearing sediments (Kityk et al., 1983). Explanations: 1 – Flysch Carpathians, 2 – northern marginal zone (deep fault zone of the Transcarpathian depression), 3 – southern marginal zone (pre-Pannonian deep fault zone), 4 – Vihorlat-Hutyn volcanic ridge (Pliocene-Pleistocene), 5 – transverse first-order faults (Transcarpathian), 6 – south-Pieniny fault, 7 – second-order faults, 8 – the northeastern boundary of Neogene molasses in the Solotvynsk depression, 9 – Badenian salt-bearing formation extent, 10 – salt domes, 11 – salt-bearing complex, 12 – terrigenous-salt-bearing complex.

położonych w obrębie zapadliska sołotwińskiego w obniżeniu zakarpackim (Ryc. 1). Sole te zostały rozpoznane w 1955 roku przez Zakarpacką Ekspedycję Geologiczno-Poszukiwawczą jako baza surowcowa do produkcji sody. Od 2023 roku rozpoczęto tutaj budowę podziemnej kopalni i rozważane są opcje wyboru obszarów do wydobywania soli kamiennej metodą podziemnego ługowania.

Podstawowe informacje dotyczące budowy złoża soli kamiennej w rejonie Terebli zostały uzyskane pod koniec lat 50. i na początku lat 60 (szczegółowe badania przeprowadzono w latach 1956-1958 oraz 1964-1965, przy czym główny zakres prac geologiczno-poszukiwawczych wykonano w latach 1956-1957). W wyniku tych prac stwierdzono wysadową budowę tego złoża (Ryc. 2). Chociaż złoże jest jednym z lepiej zbadanych w Zakarpaciu, to obecnie brak jest wystarczających informacji na temat wewnętrznej budowy struktury solnej Terebli. W naszej ocenie przekroje opracowane przez różnych autorów nie odzwierciedlają w pełni tektoniki fałdowej typowej dla tego rodzaju struktur.

Podczas analizy wysadów solnych w warunkach ograniczonej dostępności danych geologicznych, warto korzystać z doświadczeń zdobytych podczas badań analogicznych, wcześniej zidentyfikowanych struktur (Dzhinoridze, Sokolova, 1982). W takich przypadkach kompleks skał solnych bywa wciskany w strome, skompresowane, liniowo wydłużone izoklinalne fałdy. Amplituda tych fałdów często osiąga kilkaset metrów, a niejednokrotnie można zaobserwować również fałdy odwrócone. Pod wpływem sił tektonicznych skały solne mogą podlegać wielokrotnej rekryształizacji i mogą być zbrekcjonowane. Dodatkowo w tych strukturach tworzą się uskoki o zróżnicowanej morfologii i amplitudzie przesunięcia. Wiele z nich jest wypełnionych wtórnym halitem, powstałym w wyniku kilku późniejszych generacji, choć mogą występować również pęknięcia otwarte lub słabo zcementowane.

Analiza danych dotyczących budowy wysadów solnych w Polsce (Kłodawa), Kazachstanie (Inder), Bośni i Hercegowinie (Tuzla), wskazuje, że fałdy w wysadach solnych są często strukturami kompresyjnymi, a dokładniej systemami fałdów (Dzhinoridze, Sokolova, 1982; Korin i in., 2002; Korin, Sadovyi, 1998). W strefach kontaktu soli z otaczającymi skałami często tworzą się fałdy antyklinalne, podczas gdy w centralnej części struktury wysadowej dominują fałdy synklinalne. Zarówno antykliny, jak i synkliny, to skomplikowane struktury fałdowe niższego rzędu.

Celem naszej pracy jest analiza budowy tereblińskiego złoża soli kamiennej, oparta na interpretacji geologicznych przekrojów złoża oraz danych dotyczących budowy wysadów solnych o podobnym charakterze.

salts were identified in 1955 by the Transcarpathian Geological Exploration Expedition as a raw material base for soda production. Since 2023, construction of an underground mine has commenced, and options for selecting areas for rock salt extraction using underground leaching are being considered.

Basic information about the geological structure of the rock salt deposit in the Tereblia region was obtained in the late 1950s and early 1960s (detailed studies were conducted between 1956-1958 and 1964-1965, with the main scope of geological exploration carried out in 1956-1957). These studies confirmed the diapiric structure of the deposit (Fig. 2). Although this deposit is one of the better-studied ones in Transcarpathia, there is currently a lack of sufficient information about the internal structure of the Tereblia salt formation. In our assessment, the cross-sections developed by various authors do not fully reflect the folding tectonics typical of this type of structure.

When analyzing salt domes with limited geological data availability, it is valuable to use experiences gained from studying analogous, previously identified structures (Dzhinoridze, Sokolova, 1982). In such cases, salt rock complexes may be squeezed into steep, compressed, linearly extended isoclinal folds. The amplitude of these folds often reaches several hundred meters, and overturned folds may also be observed. Under tectonic forces, salt rocks may undergo multiple recrystallizations and can become brecciated. Additionally, these structures may develop faults with varying morphologies and displacement amplitudes. Many of these are filled with secondary halite formed from several later generations, although open fractures or poorly cemented ones may also be present.

Analysis of data regarding the structure of salt domes in Poland (Kłodawa), Kazakhstan (Inder), and Bosnia and Herzegovina (Tuzla) indicates that folds in salt domes are often compressional structures, specifically fold systems (Dzhinoridze, Sokolova, 1982; Korin et al., 2002; Korin, Sadovyi 1998). Anticlines often form in the contact zones between salt and surrounding rocks, while synclines dominate the central part of the salt dome structure. Both anticlines and synclines are complex lower-order fold structures.

Our work aims to analyze the structure of the Tereblia rock salt deposit based on the interpretation of geological cross-sections of the deposit and data on salt dome structures of a similar nature.

2. GEOLOGICAL AND MINING CONDITIONS OF THE TEREBLIA DEPOSIT

Existing concepts and models of the internal structure of the Tereblia deposit are quite approximate, leading to varying interpretations (Fig. 2; Bosevska, 2017).

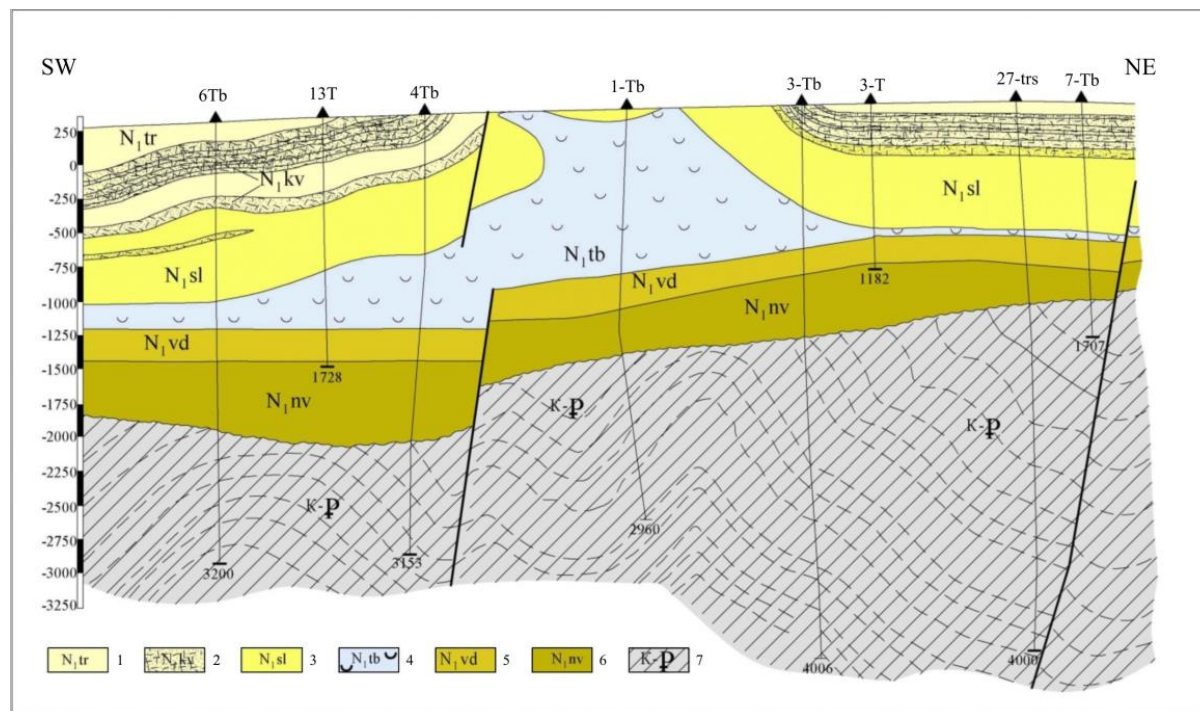
2. WARUNKI GEOLOGICZNO-GÓRNICZE ZŁOŻA TEREBLA

Dotychczasowe koncepcje i schematy wewnętrznej budowy struktury Terebła są bardzo przybliżone, dlatego interpretacje mogą się różnić (Ryc.2; Bosevska, 2017).

Uzyskane podczas wierceń dane dotyczące głębokości występowania zwierciadła solnego, zmienności zawartości NaCl, a także głębokości zalegania spagu warstw solonośnych, pozwalają jedynie na przybliżone oszacowanie grubości pokładów produkcyjnych. W trakcie badań złoża nie zidentyfikowano horyzontów korelacyjnych (markerów), które mogłyby umożliwić szczegółową charakterystykę jego struktury, chociaż sugerowano możliwość wykorzystania do tego celu wewnątrz formacyjnych warstw ilastych. Jednak ze względu na uproszczone wyobrażenia o budowie serii solonośnych i strukturach wysadów solnych, które dominowały w połowie XX wieku, dane te nie zostały praktycznie wykorzystane. Cechy strukturalno-litologiczne odkryte w trakcie wierceń na obszarze złoża były interpretowane zgodnie z istniejącymi wyobrażeniami o zewnętrznej formie diapiru solnego. Dlatego też w celu efektywnej eksploatacji złoża należy jak najdokładniej rozpoznać jego budowę wewnętrzną.

Data obtained from drilling regarding the depth of the salt mirror, variability in NaCl content, and the depth of the salt-bearing layers allow only an approximate estimation of the thickness of the production layers. During the deposit exploration, no correlation horizons (markers) were identified that could facilitate a detailed characterization of its structure, although the use of internal clay layers was suggested for this purpose. However, this data was practically unused due to the simplified understanding of salt-bearing series and salt dome structures prevalent in the mid-20th century. Structural and lithological features discovered during drilling in the deposit area were interpreted according to existing notions of the external form of the salt diapir. Therefore, it is crucial to understand its internal structure accurately to exploit the deposit effectively.

The geological and structural-tectonic features of the salt dome area in Transcarpathia suggest an analogous structural type to those described above, and based on this, we adopted a similar model for interpreting the deposit cross-sections. According to our interpretation, the salt series within the diapir is compressed into a system of folds of varying orders. The main structures are the northern and southern anticlines separated by a central syncline. The presence of the syncline



Ryc. 2. Przekrój przez centralną część diapiru solnego w Terebli (Bosevska, 2017).

- 1 – Seria tereswińska (iłowce, mułowce, piaskowce); 2 – Regionalny poziom korelacyjny tufów kowackich; 3 – Seria solotwińska (iłowce, piaskowce z warstwami tufów ryolitowych, tufitów); 4 – Seria solonośna seria Terebła; 5 – Seria wodycka (iłowce, mułowce, tufity); 6 – Seria nowosielicka (osadowo-wulkaniczna formacja: zielone tufy ryolitowo-dacytowe z warstwami tufitów, iłowców, tufopiaszczowców, zlepieńców); 7 – Paleogeńsko-kredowe podłoże krystaliczne (margle, wapień, iłowce, mułowce).

Fig. 2. Cross-section of the central part of the salt diapir at Terebła (Bosevska, 2017).

- 1 – Teresva Series (claystones, siltstones, sandstones); 2 – Regional correlation level of Kovach tuffs; 3 – Solotvyno series (claystones, sandstones with layers of rhyolite tuffs, tuffites); 4 – Salt-bearing Terebła series; 5 – Vodytsya series (claystones, siltstones, tuffites); 6 – Novoselytsya series (sedimentary-volcanic formation: green rhyolite-dacite tuffs with layers of tuffites, claystones, tuff-sandstones, conglomerates); 7 – Paleogene-Cretaceous crystalline basement (marlstones, limestones, claystones, siltstones).

Geologiczne i strukturalno-tektoniczne cechy obszaru występowania wysadów solnych w Zakarpaciu wskazują na analogiczny typ strukturalny do opisanych powyżej i na tej podstawie przyjęliśmy podobny model do interpretacji przekrojów złoża. Według naszej interpretacji, seria solna w obrębie wysadu jest wciśnięta w system fałdów różnego rzędu. Głównymi strukturami są antykliny północna i południowa rozdzielone centralną synkliną. Obecność synkliny potwierdza występowanie skał należących do swity (grupy) solotwińskiej w jej centralnej części, co jest odzwierciedlone w przekrojach (wiercenia nr 27 i nr 37).

Wzdłuż fałdów skały są mniej zdeformowane, z płaskim, bliskim poziomemu ułożeniem. Kontakt soli z warstwami terygenicznymi swity solotwińskiej jest tektoniczny.

Północny uskok jest bardziej płaski, co jest związane z kierunkiem nacisku tektonicznego z północy na południe. Kąty nachylenia skał solnych są również bardziej płaskie w północnych fałdach antyklinalnych niż w południowych. Według pomiarów rdzeni wiertniczych są one strome i wynoszą 70-80° (w przekrojach geologicznych, które są zbudowane na podstawie wyników badań, nie jest to odzwierciedlone). Południowa antyklina jest bardziej zdeformowana, co potwierdza obecność brekcji tektonicznych oraz powtórzenie warstwy iłu, która najprawdopodobniej została podzielona w wyniku budinażu. Zwiększenie intensywności fałdowania niższego rzędu w tej strukturze potwierdza również pogorszenie jakości soli, a także obecność owalnych konkrecji anhydrytowych zarówno w soli, jak i w warstwach terygenicznym. Jakość soli pogarsza się tutaj w wyniku częstszego powtarzania tych samych warstw ilastych, podczas gdy w północnej antyklinie intensywność fałdowania jest mniejsza, a jakość soli wyższa.

Istnieje szereg czynników, które determinują potencjalną efektywność eksploatacji oraz bezpieczeństwo techniczno-ekologiczne eksploatacji złóż soli. Przy wyborze metody eksploatacji i planowaniu systemu eksploatacji złóż kluczowe, naszym zdaniem, jest zrozumienie struktury złoża oraz uwzględnienie cech budowy podczas jego eksploatacji.

Efektywność i bezpieczeństwo eksploatacji przyszłej kopalni soli zależy nie tylko od zasobów soli, które są tu dość znaczące, ale także od tego, jak obiektywnie oceniona jest budowa geologiczna złoża (Korin i in., 2002). Największe zagrożenie dla bezpiecznej eksploatacji złoża soli związane jest z zjawiskami wodnymi, które związane są z budową geologiczną złoża oraz istniejącymi uskokami (Korin, Sadovyi, 1998). Często właśnie czynniki tektoniczne decydują o powstawaniu zjawisk wodnych i solankowych w kopalni soli. Zagrożenia wodne terminowo nierozpoznane mogą doprowadzić do zalania kopalni z wszystkimi negatywnymi konsekwencjami. Wdarcie się wody do wyrobisk górniczych może być także spowodowane wyborem nieuzasadnionej metody eksploatacji złóż i nieprawidłowym wykonywaniem prac wydobywczych.

confirms the occurrence of rocks belonging to the Solotvynsk suite in its central part, as reflected in the cross-sections (drillings No. 27 and No. 37).

The rocks are less deformed along the folds, with a flat, nearly horizontal arrangement. The contact between the salt and the terrigenous layers of the Solotvynsk suite is tectonic. The northern fault is gentler and is associated with the direction of tectonic pressure from north to south. The inclination angles of the salt rocks are also flatter in the northern anticlines than in the southern ones. According to core measurements, these angles are steep, ranging from 70-80° (this is not reflected in the geological cross-sections based on research results). The southern anticline is more deformed, as evidenced by tectonic breccias and repetition of the clay layer, which has likely been split due to deformation. The increased intensity of lower-order folding in this structure also confirms the deterioration in salt quality and the presence of oval anhydrite concretions in both the salt and terrigenous layers. Salt quality deteriorates here due to more frequent repetition of the same clay layers, while in the northern anticline, the folding intensity is lower, and salt quality is higher.

Several factors determine the potential efficiency and technical-ecological safety of salt deposit exploitation. Understanding the deposit structure and considering its geological features during exploitation is crucial when selecting and planning the extraction method.

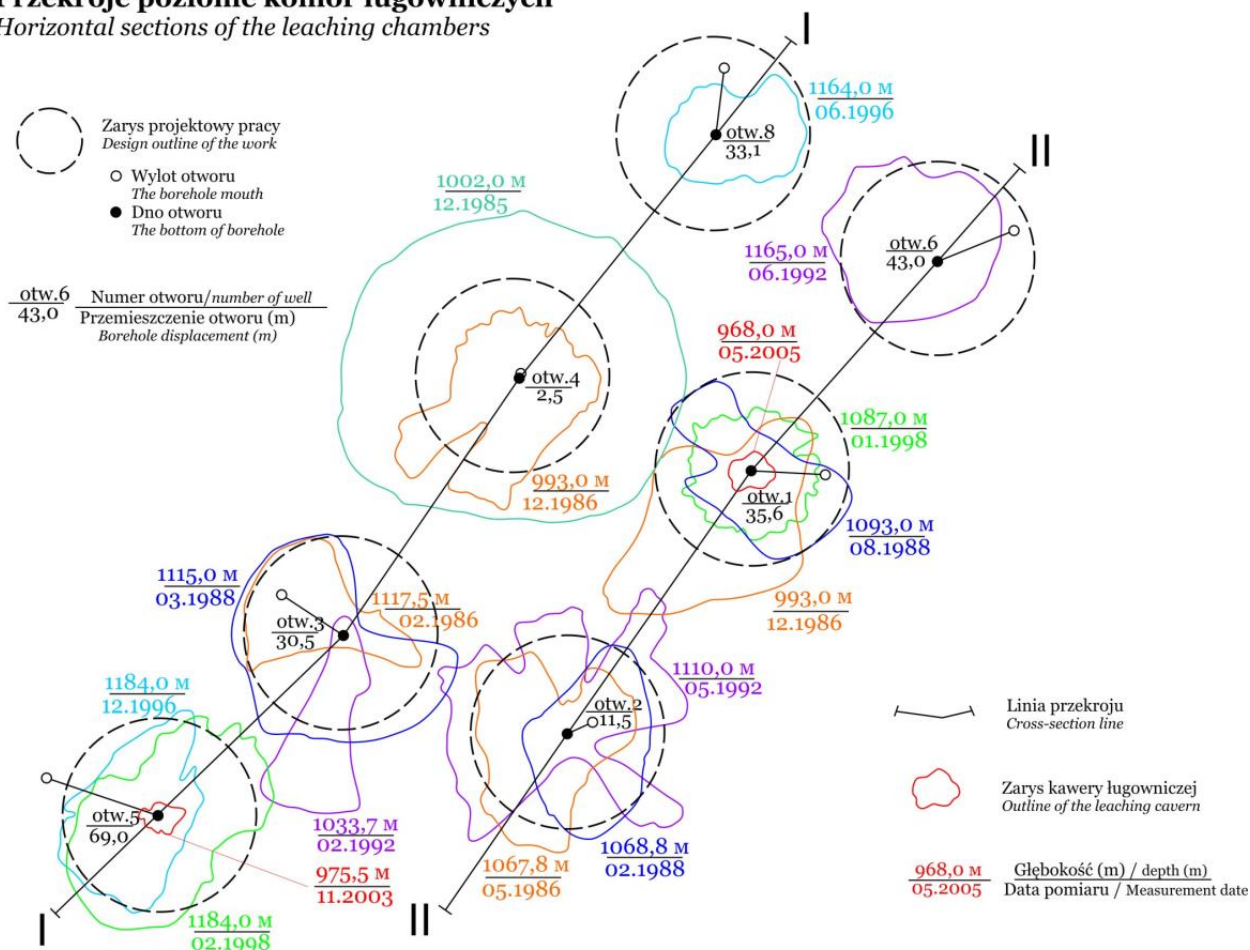
The efficiency and safety of the future salt mine depend not only on the significant salt resources available but also on how objectively the geological structure of the deposit is assessed (Korin et al., 2002). The greatest threat to the safe exploitation of the salt deposit is related to water phenomena associated with the geological structure of the deposit and existing faults (Korin, Sadovyi, 1998). Often, tectonic factors lead to the formation of water and brine phenomena in salt mines. Untimely recognition of water hazards can lead to flooding the mine with all its negative consequences. Water intrusion into mining workings can also result from selecting an unjustified extraction method and improper execution of mining operations.

3. THE IMPORTANCE OF ACCURATE DEPOSIT CHARACTERIZATION: THE CASE OF THE EFREMOV SALT DOME

An analysis of the brine plant's operations at the Efremov salt dome in the Dnieper-Donets Basin, which ran from 1974 to 2007, reveals that negative outcomes during its exploitation stemmed from inadequate geological characterization of the deposit, particularly regarding the lithostratigraphy of the salt series. As a result, almost all boreholes became hydraulically interconnected despite leaving 80-meter-thick pillars. Al-

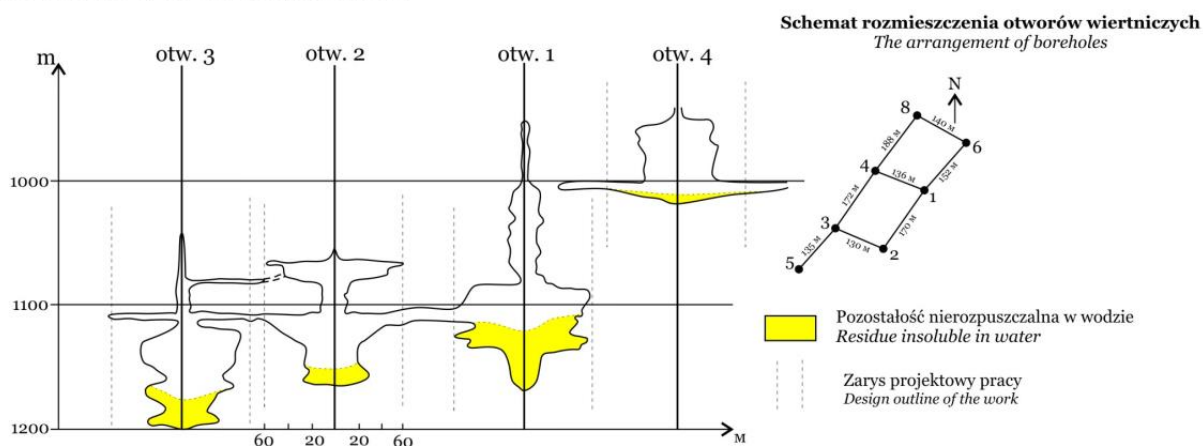
Przekroje poziome komór ługowniczych

Horizontal sections of the leaching chambers



Przekroje pionowe komór ługowniczych

Vertical sections of the leaching chambers



Ryc. 3. Lokalizacja otworów eksploatacyjnych zakładu działającego na wysadzie solnym Efremów. Budowa przekrojów poziomych i pionowych komór ługowniczych – zgodnie z danymi dokumentacji roboczej Pierwomajskiego DPP „Chemprom” (opracowano w ramach tematu „Korekta części górniczo-technologicznej projektu zakładu solankowego DPP „Chemprom” w celu zwiększenia efektywności jego eksploatacji”). Z kilku setek przekrojów pokazano tylko niektóre poziome przekroje, z których wynika, że komory rozwijały się asymetrycznie, wykraczały poza projektowy kontur, filary ulegały zniszczeniu, a parametry systemu eksploatacji były naruszane, co miało odpowiednie konsekwencje.

Fig. 3. Location of boreholes of the brine plant operating on the Efremov salt dome. Construction of horizontal and vertical cross-sections of leaching chambers – based on the operational documentation of the First of May DPP “Chemprom” (prepared as part of the project “Correction of the mining and technological part of the project for the brine plant of the DPP ‘Chemprom’ to increase its operational efficiency”). Several hundred cross-sections are shown, with only a few horizontal sections indicating that the chambers developed asymmetrically, extended beyond the planned contour, destroyed pillars, and violated exploitation parameters, leading to significant consequences.

3. ZNACZENIE PRAWIDŁOWEGO ROZPOZNANIA ZŁOŻA NA PRZYKŁADZIE EKSPLOATACJI WYSADU SOLNEGO EFREMOV

Analiza działalności zakładu solankowego, na wysadzie soli Efremov w Zapadlisku Dniepro-Donckim, działającego w latach 1974-2007, pokazuje, że przyczyną negatywnych skutków podczas jego eksploatacji był brak rozpoznania geologicznego złoża w tym litostratygrafii serii solnej. W efekcie praktycznie wszystkie odwierty zostały hydraulicznie połączone między sobą, pomimo pozostawienia filarów o grubości 80 m. Chociaż w rdzeniach dwóch odwiertów (nr 1 i nr 3) w osadach solnych znaleziono fragmenty tufów, które mogłyby stanowić pewny poziom stratygraficzny dla rozpoznania budowy wysadu.

Z powodu nadmiernego rozwoju w niektórych kierunkach, komory połączyły się, co miało znaczący negatywny wpływ na normalną pracę zakładu solankowego, ponieważ stało się niemożliwe utrzymanie ich eksploatacji zgodnie z planowaną metodą ługowania (Ryc. 3).

Z powodu takiego niekontrolowanego i niezarządzanego procesu rozpuszczania, trzeba było wstrzymać pracę odwiertów na dłuższy czas, podejmować próby przywrócenia normalnej pracy odwiertów oraz skreślać z bilansu planowane do wydobywania zasoby surowca. W przypadku, gdyby proces ługowania został rozpoczęty wyżej niż to miało miejsce, możliwości naprawienia sytuacji poprzez nowe rozpuszczanie komory przygotowawczej i kontynuowanie procesu ługowania byłyby mniejsze, a niski współczynnik wykorzystania zasobów surowca okazałby się jeszcze niższy. Biorąc pod uwagę to doświadczenie, należy zalecić wydobywanie złóż soli z Tereblia metodą ługowania przez odwierty ułożone jak najbliżej spągu serii solnej. Ponadto, przy rozmieszczaniu otworów, należy uwzględnić przewidywaną wewnętrzną strukturę wysadu, rozprzestrzenienie uskoków oraz charakter fałdowań.

Jak jest to pokazane na rycinie 3, komory ługowania w wysadzie rozwijały się bardzo nierównomiernie. Wskazuje to na znaczną anizotropię środowiska, w którym zachodzi proces ługowania soli. Chociaż dane z rozpoznania wskazywały na wysoką jakość surowca (zawartość NaCl w skale waha się w granicach 95-98%), przegląd materiału rdzeniowego z odwiertów wykonanych na złożu pokazuje, że pod względem cech strukturalno-litologicznych można wyróżnić szeroką gamę odmian soli kamiennej – od czystej białej po prawie czarną, zawierającą fragmenty ilastych łupków węglowych różnej wielkości oraz solną brekcję.

Podczas szczegółowego badania materiału rdzeniowego uwagę zwracają strome kąty nachylenia warstw, wynoszące od 70 do 80° względem pionu. Wszystko to wskazuje na znaczne dyslokacje skał solnych oraz obecność w wysadzie intensywnej izoklinalnej fałdowości różnych rzędów. Takie

though fragments of tuff, which could have served as reliable stratigraphic markers for understanding the dome's structure, were found in the cores of two boreholes (No. 1 and No. 3), this information was not effectively utilized.

Due to excessive development in some directions, the chambers merged, which significantly impacted the normal operation of the brine plant, making it impossible to maintain extraction according to the planned leaching method (Fig. 3). Due to this uncontrolled and unmanaged dissolution process, operations had to be suspended for extended periods, attempts were made to restore normal operations, and planned resources were written off. If leaching had been initiated at a higher elevation, the possibility of rectifying the situation through the new dissolution of the preparatory chamber and continuing leaching would have been reduced, resulting in an even lower resource utilization rate. Given this experience, it is recommended to conduct salt extraction at the Tereblia deposit using drilling methods placed as close as possible to the base of the salt series. Additionally, when planning borehole locations, the anticipated internal structure of the dome, the spread of faults, and the characteristics of folding should be considered.

As shown in Figure 3, the leaching chambers in the dome developed very unevenly, indicating significant anisotropy in the environment where salt leaching occurs. Although exploration data indicated high-quality raw material (NaCl content in the rock ranges from 95-98%), the examination of core material from boreholes at the deposit reveals a wide range of rock salt varieties – from pure white to nearly black, containing fragments of clayey carbonaceous shales of various sizes and salt breccia.

Detailed examination of the core material reveals steep layer inclinations, ranging from 70 to 80° from vertical. This indicates significant dislocations of the salt rocks and the presence of intense isoclinal folding of various orders within the dome. These conditions were not considered during the design of the brine plant.

We conducted a series of studies to observe the dissolution characteristics of different types of salt discovered in the Efremov deposit. Four types of salt core samples were selected for the study: halite of light gray to transparent color and massive texture, layered rock salt with alternating light and dark gray layers up to 2 cm thick, and coarse-grained and fine-grained salt breccia. Observations showed that the coarse-grained salt breccia dissolved (degraded) the fastest. Some fragments made of halite settled on the bottom, remaining undissolved among clayey and carbonaceous shale fragments and mud (in the rams). The fine-grained breccia dissolved next in terms of intensity. The pure massive rock salt was the least affected sample, which visually showed almost no insoluble residue.

okoliczności nie były w żaden sposób uwzględnione podczas projektowania zakładu solankowego.

Przeprowadziliśmy serię badań w celu obserwacji cech rozpuszczania kilku rodzajów soli odkrytych w złożu Efre-mów. Do badań wybrano cztery rodzaje rdzeni soli kamiennej: halit o jasnoszarym do przezroczystego kolorze i masywnej teksturze, warstwowa sól kamienna z naprzemiennymi jasnymi i ciemnoszarymi warstwami o grubości do 2 cm, a także brekcja solna gruboziarnista i drobnoziarnista. W wyniku obserwacji okazało się, że najszybciej rozpuszczał się (ulegał niszczeniu) rdzeń reprezentowany przez gruboziarnistą brekcję solną. Część fragmentów zbudowanych z kawałków halitu osiadała na dnie, gdzie pozostawała nierozpuszczona wśród fragmentów gliniastych i węglowych łupków oraz mułu (w rzapiu). Kolejną pod względem intensywności rozpuszczania była brekcja drobnoziarnista. Najmniej zniszczonym próbką okazała się czysta masywna sól kamienna, w której wizualnie praktycznie nie zaobserwowano zanieczyszczeń nierozpuszczalnym osadem.

Wyniki przeprowadzonych obserwacji dotyczących intensywności rozpuszczania różnych rodzajów soli kamiennej wskazują, że choć proces rozpuszczania (wyflukiwania) soli jest głównie postrzegany jako proces nasycania roztworu i osiągnięcia przez niego odpowiedniej koncentracji, w rzeczywistości jest przede wszystkim procesem niszczenia (sztucznego krasowienia) masywu solnego. Proces ten zachodzi bardziej aktywnie w najbardziej przepuszczalnych, osłabionych obszarach. Woda lub słabo mineralizowane roztwory przenikają bardziej intensywnie do bardziej porowatego środowiska niż do praktycznie pozbawionych porów monolitycznych soli, a podczas rozpuszczania soli w ilastych i terygenicznym warstwach (np. w zubrach) następuje osłabienie więzi między cząstkami skały i ich dezintegracja. Ważne jest, aby zwrócić uwagę, że często obecność w przekroju przyszłego interwału wyflukiwania obszarów wzbogaconych materiałem terygenicznym jest rozważana jako taka, która będzie ekranować powierzchnię soli i spowalniać rozwój komory.

4. WNIOSKI

Jakość rozpoznania złoża soli kamiennej w Terebli jest obecnie niewystarczająca. Priorytetowym zadaniem dla przedsiębiorstwa wydobywczego jest ustalenie modelu budowy geologicznej złoża. Ponieważ podczas rozpoznania złoża nie ustalono jednoznacznych kryteriów do interpretacji wewnętrznej budowy struktury wysadu solnego, uważamy za racjonalne uwzględnienie doświadczeń szczegółowego badania struktur solnych podobnego typu. Ogólnie rzecz biorąc, struktury typu tereblińskiego są strukturami wznoszenia, które powstają na obszarach, gdzie rozwinięty jest system uskoków.

Bez wątpienia każda z struktur solnych różni się swoimi charakterystycznymi cechami budowy. Jednak nasze do-

The results of the dissolution intensity observations indicate that while the dissolution (leaching) of salt is primarily seen as a process of solution saturation and reaching the desired concentration, it is, in fact, primarily a process of destruction (artificial karstification) of the salt massif. This process occurs more actively in the most permeable, weakened areas. Water or weakly mineralized solutions penetrate more intensely into the more porous environment than into nearly pore-free monolithic salt. During salt dissolution in clayey and terrigenous layers (e.g., in the zubres), the bond between rock particles and their disintegration is weakening. It is important to note that the presence of terrigenous material-enriched areas in the cross-section of the future leaching interval is often considered a factor that will screen the salt surface and slow down chamber development.

4. CONCLUSIONS

The current geological characterization of the Tereblia rock salt deposit is insufficient. A priority for the mining company is to establish a detailed geological model of the deposit. Given that clear criteria for interpreting the internal structure of the salt dome were not established during the exploration phase, it is rational to consider the experiences from detailed studies of similar salt structures. In general, Tereblia-type structures are uplifted formations that develop in areas with a well-developed fault system.

While each salt structure has its unique features, our experience with direct studies of such objects indicates that certain general patterns of internal structure likely arise from their formation mechanism.

For Tereblia-type structures, predicting the presence of two main anticlines and a central syncline is reasonable. Different parts of the dome exhibit variations in structure, affecting the salt quality and the extraction system's stability.

In the next phase, when exposing salt layers through underground mining works or drilling additional exploration boreholes from the surface, it is essential to conduct more detailed investigations of the lithological features of the deposits to identify characteristic indicator layers. This will help to supplement existing information, refine geological cross-sections, and develop maps for the working levels of the future mine.

It is important to consider the presence of fault zones of various scales, including so-called plastic faults, which may not always be visible in core documentation but can be identified with appropriate experience during a detailed examination of significant mine exposures.

When planning to extract resources from the Tereblia deposit using underground leaching methods, leaching operations should begin from the greatest possible depths. Currently, the deposits have been explored to a depth of 500 me-

świadczenia w bezpośrednim badaniu takich obiektów wskazują, że istnieją pewne ogólne prawidłowości ich wewnętrznej struktury, wywołane prawdopodobnie mechanizmem ich powstawania.

Dla struktur typu tereblińskiego można prognozować obecność dwóch skrajnych antyklin i centralnej synkliny. Różne części wysadu charakteryzują się różnicami w budowie, co wpływa na jakość soli i stabilność systemu eksploatacji.

W dalszym etapie, przy odsłanianiu warstw solnych za pomocą podziemnych wyrobisk górniczych lub przy wierceniu dodatkowych odwiertów rozpoznawczych z powierzchni, należy dokładniej badać litologiczne cechy osadów, aby zidentyfikować charakterystyczne warstwy wskaźnikowe. Pozwoli to uzupełnić istniejące informacje, precyzować przekroje geologiczne i opracować mapy na roboczych poziomach przyszłej kopalni.

Należy uwzględnić, że istnieją strefy uskoków o różnej skali, w tym tzw. uskoków plastycznych, które nie zawsze są widoczne w dokumentacji rdzenia, ale mogą być zidentyfikowane przy odpowiednim doświadczeniu podczas szczegółowego badania w odsłonięciach głównych wyrobisk górniczych.

Podczas planowania eksploatacji zasobów złoża tereblińskiego metodą podziemnego ługowania, należy rozpocząć ługowanie komór od możliwie największych głębokości. Obecnie złoża zostały rozpoznane do głębokości 500 m, chociaż według danych z niektórych odwiertów podstawa warstwy solonośnej w rejonie kopuły Tereblińskiego osiąga głębokości przekraczające 1000 metrów. Biorąc pod uwagę, że eksploatacja złóż metodą rozpuszczania jest procesem słabo kontrolowanym z niskim współczynnikiem odzysku surowca, istotne jest optymalne rozmieszczenie odwiertów wydobywczych w obszarze, który jest potencjalnie planowany do eksploatacji tą metodą.

ters, although data from some boreholes indicate that the base of the salt-bearing layer in the Tereblia dome region reaches depths exceeding 1000 meters. Since the extraction of deposits using dissolution methods is a poorly controlled process with a low recovery rate, it is crucial to optimally place extraction boreholes in the areas that are potentially planned for exploitation using this method.

LITERATURA/REFERENCES

- BOSEVSKAYA L. P., 2017. Targeted Geological-Industrial Evaluation of the Tereblyanska Salt-Dome Structure (Transcarpathia). Dniprop. Univer. bulletin. Geology, geography., 25(2), 3–22. doi: 10.15421/111716.
- DJINORIDZE N. M., SOKOLOVA T. M., 1982. Marker Horizons, Tectonic Structure, and the Paths of Rock Transformation of Potassium-Magnesium Salt Deposits of One of the Domes of Central Pre-Caspian. Leningrad, VNIIG., pp. 44–70.
- KITIK V. I., BOKUN A. N., PANOV G. M., 1983. Halogen Formations of Ukraine: Transcarpathian Basin. – Kyiv: Naukova Dumka, 168 pp.
- KORIN S. S., SADOVYI J. V., 1998. Occurrences of Brine in Salt Mines and the Nature of Their Formation. Geological Review, 46: 155–158.
- KORIN S. S., SADOVYI Y. V., MOSORA T. M., 2002. Tectonics of the Upper Permian Kłodawa Dome in Poland and Its Influence on Salt Quality, and the Nature of Water and Oil Manifestations // Geology and Geochemistry of Combustible Minerals. No. 1, pp. 41–51.