



# Odbudowa przemysłu potasowego w Ukrainie i charakterystyka procesów jego przetwarzania

## Resources for the restoration of the potash industry of Ukraine and features of their processing

Olha KHATSEVYCH, Olha DERZHKO

Państwowa Instytucja, Państwowy Instytut Badawczo-Projektowy Chemii Podstawowej,  
ul. Fabryczna 5a, Kalusz, obwód Iwano-Frankowski, Ukraina 77304,  
e-mail: halurgie@niochim.kharkov.ua , khatsevych.olga@meta.ua , olgaderzko328@gmail.com

### STRESZCZENIE

Artykuł przedstawia dane dotyczące dostępności zasobów potasu w Ukrainie i pokazuje możliwość ich wykorzystania do produkcji nawozów potasowo-magnezowych typu siarczanowego. Zaprezentowano mapę złóż soli potasowej w Basenie Przedkarpaccim oraz ogólne cechy rud polimineratowych. Krótko opisano technologiczną sekwencję przetwarzania rud polimineratowych z Basenu Przedkarpacciego w celu uzyskania trzech głównych produktów: kalimagnezji, soli (technicznej lub spożywczej) oraz skoncentrowanych roztworów chlorku magnezu. Wskazano również możliwość rozwiązania problemów środowiskowych istniejących w zakładach dawnych przedsiębiorstwach potasowych. Przedstawiono perspektywiczne kierunki odbudowy przemysłu potasowego w Ukrainie.

**Słowa kluczowe:** nawozy potasowo-magnezowe, sól, ruda polimineratowa, technologia przetwarzania, roztwory solankowe, szenit, surowce sztuczne.

### 1. WPROWADZENIE

W Ukrainie znane są dwa baseny solonośne, w których oprócz soli kamiennej (NaCl) odkryto złoża soli potasowych: Basen Przedkarpaccy (7,8 mld ton rudy) oraz Basen Dnieprowsko-Doniecki (4,3 mld ton rudy). Praktyczne wykorzystanie zasobów soli potasowych w regionie Karpat, w szczególności w złożach Kalusz - Hołyń i Stebnickim, rozpoczęło się w ubiegłym wieku. Badania geologiczne wykazały ogromny potencjał podziemnych zasobów Przedkarpaccia jako pewnej bazy surowcowej dla długoterminowego rozwoju przemy-

### ABSTRACT

The article presents data on the availability of potash resources in Ukraine and demonstrates the possibility of their use for the production of sulfate-type potassium-magnesium fertilizers. A map of potassium salt deposits of the Fore-Carpathian Basin and general characteristics of polymineral ores are presented. The technological scheme of processing polymineral ore of the Fore-Carpathian Basin with the production of three main products: kalimagnesia, salt (technical or food grade), and concentrated magnesium chloride solutions is briefly described. The possibility of solving environmental problems existing at the facilities of former potash enterprises is shown. Prospective directions for the restoration of the potash industry of Ukraine are given.

**Keywords:** potassium-magnesium fertilizers, salt, polymineral ore, processing technology, saline solutions, schoenite, artificial raw materials.

### 1. INTRODUCTION

In Ukraine, two salt-bearing basins are known, where, in addition to rock salt (NaCl), deposits of potassium salts have been discovered: Fore-Carpathian Basin (7.8 billion tonnes of ore) and the Dnipro-Donetsk basin (4.3 billion tonnes of ore). The practical use of potassium salt resources in the Carpathian region, in particular at the Kalush-Holinsky and Stebnitsky deposits, began in the last century. Geological exploration has established the great potential of the subsoil of Prykarpattia as a reliable raw material base for the long-term development of the potash industry. The deposits of the Dnipro-Donetsk basin have not been sufficiently studied (according to data from the

słu potasowego. Złoża Basenu Dnieprowsko-Donieckiego nie zostały jednak dostatecznie zbadane (według danych US Geological Survey).

Potas (K) jest jednym z trzech kluczowych składników odżywczych niezbędnych do wzrostu roślin (azot (N), fosfor (P), potas (K)). Około 93% wydobywanego potasu wykorzystuje się do produkcji nawozów. Światowe zasoby potasu szacuje się na 3,7 mld ton, a obecne tempo produkcji zaspokaja globalne zapotrzebowanie. Zasoby potasu nie są więc obecnie krytycznie ograniczone – przy obecnym tempie zużycia wystarczą na około 400 lat. Ukraina, posiadając znaczące rezerwy surowców potasowych, może nie tylko produkować wartościowe nawozy potasowo-magnezowe, ale również eksportować je na rynki zagraniczne.

## 2. CHARAKTERYSTYKA RUD POTASOWYCH W UKRAINIE

Rudy potasowe Basenu Przedkarpacciego charakteryzują się dużą niejednorodnością oraz zróżnicowanym składem mineralnym. Żadne inne złoża na świecie nie wykazują tak dużej różnorodności minerałów potasowych. Do głównych minerałów należą kainit, langbeinit oraz halit. Powszechnie występuje skała kainitowa, zawierająca 35–60% kainitu, 20–40% halitu oraz mniejsze ilości innych minerałów. Skały kainitowe występują nie tylko w Basenie Przedkarpaccim, lecz także w innych złożach potasowych.

Drugim pod względem częstości występowania typem jest skała langbeinitowo-kainitowa, zawierająca 10–20% langbeinitu, 20–30% kainitu oraz 30–40% halitu. Tego typu skały występują wyłącznie w polimineralnych rudach potasowych Basenu Przedkarpacciego. Typowa skała langbeinitowa zawiera 30–50% langbeinitu oraz około 30% halitu. Skały langbeinitowe spotykane są w złożach potasowych w USA, Niemczech, Pakistanie i Austrii, jednak jedynie w Karpatach oraz w USA tworzą one zasoby o znaczeniu przemysłowym.

Złoża karpaccie należą do rzadkiego typu siarczanowego oraz chlorkowo-siarczanowego, którego przerób umożliwia uzyskanie cennych i deficytowych na światowym rynku nawozów siarczanowych potasu, takich jak siarczan potasu zawierający dwa pierwiastki niezbędne do prawidłowego rozwoju fizjologicznego roślin – potas (K) i siarkę (S), a także kalimagnezja, wzbogacona w magnez (Mg). Istnieje również możliwość rozszerzenia asortymentu produktów, m.in. o produkcję syngenitu oraz innych typów nawozów, w zależności od potrzeb oraz sytuacji cenowej na rynku światowym.

Uwzględniając sytuację, która zaistniała 14 lutego 2023 r., Rada Ministrów Ukrainy zatwierdziła wykaz złóż kopalni o strategicznym znaczeniu dla zrównoważonego rozwoju gospodarki oraz zdolności obronnych państwa. W wykazie tym ujęto złoża: kałusko - hołyńskie oraz stebnickie jako bazy surowcowe do produkcji nawozów potasowych i chlorku sodu.

US Geological Survey). Potassium (K) is one of three key nutrients necessary for plant growth (Nitrogen (N), Phosphorus (P), Potassium (K)) 93% of mined potassium is used for fertiliser production. Global reserves of potassium are estimated at 3.7 billion tonnes, and current production rates meet global demand. Global reserves of potassium are not immediately scarce, estimated reserves will last for the next 400 years at the current consumption rate. Ukraine, with significant reserves of potassium raw materials, can also produce valuable potassium-magnesium fertilizers and even export them.

## 2. CHARACTERISTICS OF UKRAINIAN POTASH ORE ROCKS

Potash ores of the Fore-Carpathian Basin are characterized by heterogeneity and a variety of mineral compositions. No deposit in the world contains a similar variety of potash minerals. The main minerals are kainite, langbeinite, and halite. Kainite rock, which contains 35–60% kainite, 20–40% halite, and smaller amounts of other minerals, is common. Kainite rock is found not only in the Fore-Carpathian Basin, but also in other deposits. The second most common is the langbeinite-kainite rock, which contains 10–20% langbeinite, 20–30% kainite, and 30–40% halite. Such a rock is found only in the polymineral potassium ore of Fore-Carpathian Basin. The common langbeinite rock contains 30–50% langbeinite and 30% halite. Langbeinite rock is found in potash deposits of the USA, Germany, Pakistan, Austria, but only in the Carpathians, and in the USA, it forms industrial reserves. Carpathian deposits belong to a rare type - sulfate and chloride-sulfate, the processing of which will contribute to obtaining valuable and scarce potassium sulfate fertilizers on the world market: potassium sulfate, which contains two elements necessary for the normal physiological development of plants - K (potassium) and S (sulfur), as well as kalimagnesia, which includes Mg (magnesium). It is also possible to expand the range of products, in particular, the production of kalushite (syngenite) and other types of fertilizers, depending on the needs and the price situation on the world market.

Taking into account the situation that developed on February 14, 2023, the Cabinet of Ministers of Ukraine approved the list of mineral deposits that are of strategic importance for the sustainable development of the economy and the defense capability of the state, which includes the Kalush-Holinsky and Stebnytske deposits as raw material bases for the production of potash fertilizers and sodium chloride. In addition to these deposits, there are also promising deposits with reserves of raw materials for many tens of years (Haydin A.M. and others, 2017) (Table 1).

In global practice, potash deposits are developed in three ways: underground mining by dry or wet methods, solution mining, and open - pit mining. Depending on specific geo-

Oprócz tych złóż istnieją również perspektywiczne złoża dysponujące zasobami surowcowymi wystarczającymi na wiele dziesięcioleci (Haydin A.M. i in., 2017) (Tab. 1).

W praktyce przemysłowej na świecie, złoża potasu eksploatowane są trzema metodami: górnictwem podziemnym metodą suchą lub moką, ługowaniem (eksploatacją otworową) oraz metodą odkrywkową. Wybór metody zależy od konkretnych uwarunkowań geologicznych, hydrogeologicznych, górniczo-technicznych oraz technologicznych (Orris, G.J. i in., 2017). Najważniejszym czynnikiem decydującym o doborze efektywnej metody wydobycia jest głębokość zalegania złoża oraz wielkość jego zasobów.

W Basenie Przedkarpacim po raz pierwszy w praktyce światowej sole potasowe były eksploatowane metodą odkrywkową. Rejon Dąbrowy stanowił unikatowy obiekt geologiczny, a warunki eksploatacji były wyjątkowo sprzyjające. Przeróbka takiego surowca umożliwiała uzyskanie cennych i deficytowych na rynku światowym nawozów siarczanowych potasu, takich jak siarczan potasu, kalimagnezja oraz syngenit.

Światowa produkcja nawozów potasowych bezchlorkowych stanowi około 8%. Efektywność przeróbki polimineralnych surowców potasowych jest ograniczona przez obecność znacznej ilości minerałów solnych o zróżnicowanych właściwościach fizykochemicznych, a także przez wysoki udział nierozpuszczalnych pozostałości (12–15%). Złożona budowa geologiczna tych złóż również musi być uwzględniana przy planowaniu prac poszukiwawczych i wydobywczych.

### 3. AKTUALNA PRODUKCJA POTASU NA ŚWIECIE I W UKRAINIE ORAZ PERSPEKTYWY NA PRZYSZŁOŚĆ

Należy podkreślić, że na rynku światowym istnieją sprzyjające uwarunkowania dla wznowienia produkcji nawozów w Ukrainie:

- wystarczająca baza surowcowa soli potasowo-magnezowych do produkcji nawozów typu siarczanowego;
- wyraźny niedobór nawozów potasowych, wynikający m.in. z sankcji nałożonych na dwóch największych światowych dostawców nawozów potasowych (Federację Rosyjską i Białoruś);
- zaawansowany stopień eksploatacji i wyczerpywanie się złóż siarczanowych surowców potasowych na świecie;
- globalny trend stałego wzrostu cen nawozów;
- intensyfikacja produkcji rolnej, a w konsekwencji rosnące zapotrzebowanie na nawozy potasowe.

Według raportu z 2021 roku Narodowego Instytutu Badań Ekonomicznych i Społecznych „Geoinform of Ukraine”, roczne zapotrzebowanie Ukrainy na nawozy potasowe wynosi około 2,0 mln ton  $K_2O$ . Zgodnie z zaleceniami Rady Analityczno-Doradczej Rady Najwyższej Ukrainy ds. gospo-

logical, hydrogeological, mining technical, and technological factors. (Orris, G.J. and all, 2017) The most important factor in choosing an effective mining method is the depth of the deposit and the amount of reserves. In the Fore-Carpathian Basin, for the first time in world practice, potassium salts were mined by open-pit mining. The Dombrova region was a unique geological object, and the development conditions were quite favorable. During the processing of such raw materials, prices and types of potassium sulfate fertilizers (potassium sulfate, potassium magnesia, kalushite), which are scarce on the world market, were obtained.

The world output of chloride-free potash fertilizers is 8%. The efficiency of the processing of polymineral potash raw materials is complicated by a significant amount of salt minerals with different physicochemical properties and the presence of a significant content of insoluble residue (12–15%). The geological structure is also complex, which must be taken into account when planning mining exploration and extraction operations.

### 3. CURRENT GLOBAL AND UKRAINIAN POTASH PRODUCTION AND FUTURE PROSPECTS

It is important to note that the world market has favorable circumstances for the resumption of fertilizer production in Ukraine:

- sufficient raw material base of potassium-magnesium salts for the production of sulfate-type fertilizers;
- a noticeable shortage of potash fertilizers, in particular due to the sanctions of the two largest suppliers of potash fertilizers in the world (the Russian Federation, Belarus);
- working out and exhausting deposits of sulfate-type potash raw materials in the world;
- the trend at the global level regarding the constant increase in fertilizer prices;
- intensification of the production of agricultural products and, accordingly, an increase in the need for potash fertilizers.

According to the 2021 edition of the National Economic and Social Research Institute „Geoinform of Ukraine”, Ukraine’s need for potash fertilizers is approximately 2.0 million tonnes of  $K_2O$  per year. According to the analytical and advisory council of the Verkhovna Rada of Ukraine on economic issues, to ensure optimal crop rotations, Ukraine needs 1.56 million tonnes of potash fertilizers (calculated as  $K_2O$ ). Even before the full-scale invasion of Russia, Ukraine annually imported potash salts worth about 350 million dollars. The main suppliers of products were Belarus, Poland, the Russian Federation, and Germany. Their total share in the Ukrainian market was about 90%. Since the main importers of potash fertilizers were the aggressor countries, these volumes could be covered by Ukrainian producers. Ukraine

darczych, dla zapewnienia optymalnej struktury płodozmianu Ukraina potrzebuje 1,56 mln ton nawozów potasowych (przeliczonych na  $K_2O$ ). Jeszcze przed szeroko zakrojoną inwazją Rosji, Ukraina corocznie importowała sole potasowe o wartości około 350 mln dolarów. Głównymi dostawcami były Białoruś, Polska, Federacja Rosyjska i Niemcy, a ich łączny udział w ukraińskim rynku wynosił około 90%. Ponieważ główni importerzy nawozów potasowych to kraje agresora, te ilości mogłyby być pokryte przez ukraińskich producentów. Ukraina powinna wykorzystać wyjątkową okazję do przywrócenia krajowej produkcji nawozów potasowych w celu zaspokojenia własnych potrzeb, a także rozważyć eksport siarczanowych form nawozów potasowych na rynki światowe.

W ostatnich latach ukraiński instytut NIOCHIM opracował warianty schematów technologicznych przetwarzania surowców potasowych z pokładów Basenu Przedkarpackiego, które różnią się od znanych technologii tym, że osiągają znacznie wyższe wydobycie składników użytecznych (K, Mg, S) oraz są bardziej energooszczędne (Kostiv I., Basystyuk Y., 2017 i in.). Niedoskonała technologia przetwarzania surowców polimineralnych, stosowana wcześniej w zakładach potasowych w Kałuszu i Stebniku, prowadziła do nagromadzenia silnie zmineralizowanych solanek (ponad 30 mln  $m^3$ ) (Rys. 1), które również wymagają przerobu (Haydin A.M. i in., 2017). Obecnie roztwory solne stanowią istotne zagrożenie środowiskowe, ale mogą być cennym surowcem do produkcji nawozów potasowo-magnezowych oraz soli technicznej (Kostiv I. i in., 2023). Solanki kopalniane stanowią układ wieloskładnikowy  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+ // Cl^-, SO_4^{2-} - H_2O$ , nienasycony solami  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$  i  $SO_4^{2-}$  (Längauer D., 1935).

Uważamy, że istnieją dwa kierunki, które pozwalają rozwiązać problem niedoboru nawozów potasowych w Ukrainie, i które mogą być realizowane równocześnie:

should take a unique opportunity to restore potash industry production to meet its own needs, as well as consider importing sulfate forms of potash fertilizers to world markets.

In recent years, Ukrainian laboratory NIOCHIM has developed variants of technological schemes for the processing of potash raw materials from the Fore-Carpathian Basin deposits, which differ from the known technology by achieving significantly higher extraction of useful components (K, Mg, S) and are more energy efficient (Kostiv I., Basystyuk Y., 2017 and all) The imperfect technology of processing polymineral raw materials, which was used earlier at the potash plants in Kalush and Stebnyk, led to the accumulation of highly mineralized brines (more than 30 million  $m^3$ ) (Fig. 1), which also need to be processed (Haydin A.M. and all, 2017). Salt solutions currently pose a significant environmental threat, but can be a valuable raw material for the production of potassium-magnesium fertilizers and technical salt. (Kostiv I. and all, 2023) Mine solutions are a multicomponent system of  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+ // Cl^-, SO_4^{2-} - H_2O$ , unsaturated with  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$  and  $SO_4^{2-}$  salts (Längauer D., 1935).

We believe that two directions allow solving the shortage of potash fertilizers in Ukraine, and these can be implemented simultaneously:

- restoration of potash mining based on the Kalush-Holynske and Stebnyk deposits using existing artificial raw materials, by modernizing the process of extraction and processing of polymineral ore;
- conducting geological prospecting works using modern methods, detailed geological study of new prospective areas of potash salts in the Carpathian region, and realization of their research and industrial development.

According to the US Geological Survey (USGS), as of 2022, explored potash ore reserves are estimated at more than 3.3 billion tonnes (calculated as  $K_2O$ ).

**Tabela 1.** Potencjalne zasoby surowców potasowych (porównanie składu) (Rudko G.I. i in., 2017)  
**Table 1.** Potential resources of potassium raw materials (composition comparison) (Rudko G.I., and others 2017)

Nazwa złoża/ Name of the deposit	Kałusz-Hołyń	Markowa-Rosulna	Tura Wielka
Zasoby w mln ton/ Reserves, million tonnes	358,7	1 040,4	147,1
Skład mineralny (%)/ Mineral composition, (%)			
$K_2O$	10,40	10,9	9,02
Halit/ Halite	35,31	28,4	26,4
Kainit/ Kainite	17,00	13,8	16,88
Sylwin/ Sylvite	9,76	3,53	1,40
Langbeinit/ Langbeinite	5,53	18,78	11,62
Polihalit/ Polyhalite	5,67	7,30	3,80
Fracja ilasta/ Clay	17,34	13,51	18,66

- przywrócenie wydobycia potasu na bazie złóż Kałusz-Hołyń i Stebnik przy wykorzystaniu istniejących surowców wtórnych, poprzez modernizację procesu wydobycia i przetwarzania rudy poliminerałowej;
- prowadzenie prac poszukiwawczo-geologicznych z zastosowaniem nowoczesnych metod; szczegółowe badanie geologiczne nowych perspektywicznych obszarów występowania soli potasowych w regionie Karpat oraz realizacja ich badań i rozwoju przemysłowego.

Według danych US Geological Survey (USGS), na koniec 2022 roku zasoby zbadanych rud potasowych szacuje się na ponad 3,3 miliarda ton (przeliczone na  $K_2O$ ).

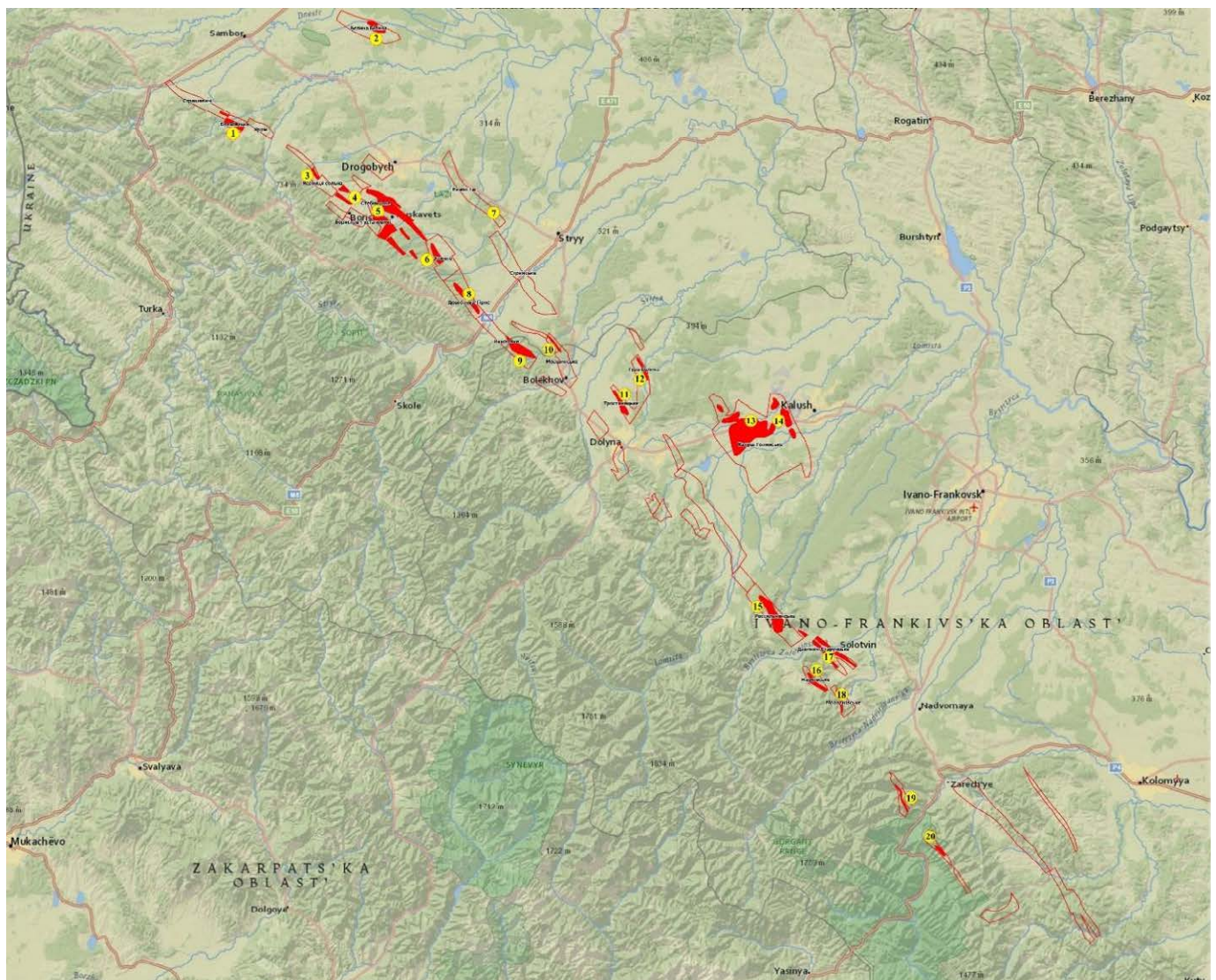
#### 4. NOWE TECHNOLOGIE PRZETWARZANIA POTASU

W pracowni Instytutu Państwowego NIOCHIM opracowano schemat technologiczny przetwarzania złóż soli polimineralnych z regionu Karpat. Nowa technologia różni się

#### 4. NEW POTASH PROCESSING TECHNOLOGIES

A technological scheme for the processing of deposits of polymineral salts of the Carpathian deposits has been developed at our laboratory (State Institution NIOCHIM). The new technology differs from previously used technologies by achieving significantly higher extraction of useful components from raw materials at lower energy costs. Fig. 2 shows the basic block diagram of the processing of polymineral potash ore. This technology is suitable for polymineral potash raw materials of variable composition.

The essence of the proposed technology (Fig. 2) for the processing of polymineral raw materials is that the ore is crushed. The wet mixture is fed to the sides for hydration of poorly soluble minerals (langbeinite, kiserite) into easily soluble ones (kainite, schoenite). The converted ore is dissolved. After dissolving the hydrated ore, a saturated solution and a clay-salt residue are obtained, which are submitted for separa-



**Ryc. 1.** Mapa lokalizacji głównych złóż soli potasowych w Zapadlisku Przedkarpackim (Mapa Ukrainy w skali 1:30 000, z zaznaczonymi na czerwono lokalizacjami rud potasowych w Zapadlisku Przedkarpackim).

**Fig. 1.** Map of the locations of main deposits of potassium salts in the Fore-Carpathian Basin (Map of Ukraine at a scale of 1:30 000, showing the locations of potash ore in the Fore-Carpathian Basin in red).

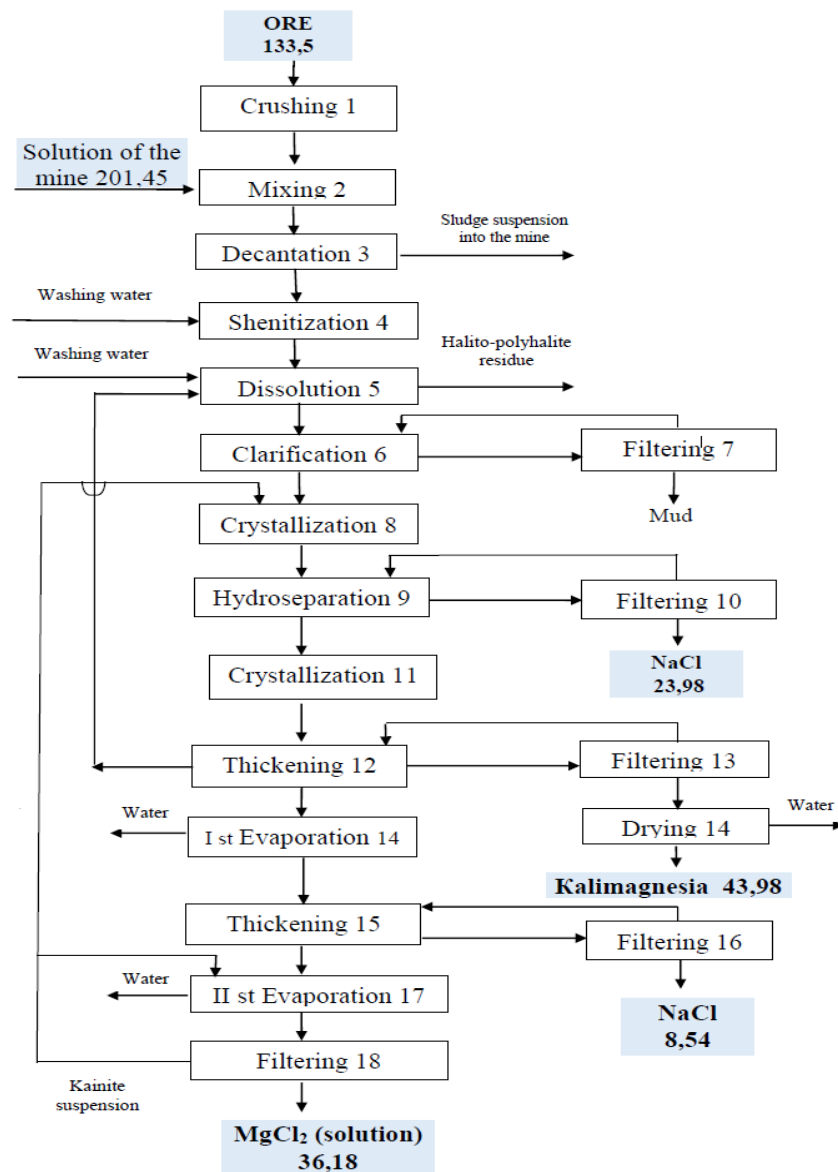
od wcześniej stosowanych metod tym, że pozwala na znacznie wyższe odzyskiwanie składników użytkowych z surowca przy niższym zużyciu energii. Na Rys. 2 przedstawiono podstawowy schemat blokowy przetwarzania rudy polimineralewej potasu. Technologia ta jest odpowiednia dla surowców polimineralewych o zmiennym składzie.

Istotą proponowanego sposobu (Rys. 2) przetwarzania surowców polimineralewych jest kruszenie rudy. Wilgotna mieszanina podawana jest do ston w celu uwodnienia słabo rozpuszczalnych minerałów (langbeinit, kiseryt) w minerały łatwo rozpuszczalne (kainit, szenit). Przekształcona ruda jest następnie rozpuszczana. Po rozpuszczeniu uwodnionej rudy otrzymuje się roztwór nasycony oraz osad gliniasto-solny, które poddaje się separacji.

W celu dokładniejszego oczyszczenia roztworu nasyconego z cząstek gliny stosuje się 0,25% roztwór poliakrylamidu (PAA). Zagęszczony osad gliniasto-solny może być wykorzy-

tion. For better cleaning of saturated solution from clay particles, use a 0.25% polyacrylamide (PAA) solution. Thickened clay-salt sludge can be used to fill mine voids formed during ore extraction. After separation of the sludge, the illuminated saturated solution is served for cooling. During cooling, first salt (NaCl) crystallizes, and with deeper cooling (293 K), schoenite. The filtered schoenit is dried to a ready-made potassium-magnesium fertilizer - kalimagnesia. After separation of schoenite, part of the schoenite mother liquor is returned to the stage of dissolving the converted ore. Moreover, the other part of the schoenite solution is fed to the first stage of evaporation for the release of sodium chloride. The solution after crystallization of sodium chloride is submitted to the second stage of evaporation, which is accompanied by the formation of a suspension of kainite.

After thickening, the kainite suspension is fed to the schoenite crystallization stage. After cooling to a temperature of



Ryc. 2. Podstawowy schemat blokowy przeróbki polimineralnych rud potasowych Zapadliska Przedkarpackiego.

Fig. 2. Basic block diagram of polymineral potash ore processing of the Fore-Carpathian Basin.

stany do wypełniania pustek powstałych w kopalni podczas wydobywania rudy.

Po oddzieleniu osadu, oczyszczony roztwór nasycony poddawany jest schładzaniu. Podczas chłodzenia najpierw krystalizuje sól (NaCl), a przy dalszym obniżeniu temperatury (293 K) – szenit. Filtrowany szenit jest suszony do postaci gotowego nawozu potasowo-magnezowego – kalimagnezji.

Po oddzieleniu szenitu część macierzystego roztworu szenitu wraca do etapu rozpuszczania przekształconej rudy, natomiast pozostała część roztworu szenitu kierowana jest do pierwszego etapu odparowywania w celu wydzielenia chlorku sodu. Roztwór po krystalizacji chlorku sodu poddawany jest drugiemu etapowi odparowywania, podczas którego powstaje zawiesina kainitu.

Po zagęszczeniu zawiesina kainitu kierowana jest do etapu krystalizacji szenitu. Po schłodzeniu do temperatury 323 K oddziela się z zawiesiny gruboziarnisty chlorek sodu. Roztwór jest następnie dalej schładzany do 293 K, przy czym dodaje się 10% wody w celu krystalizacji szenitu. Szenit oddziela się poprzez filtrację na wirówce i suszy, otrzymując w ten sposób nawóz potasowo-magnezowy – kalimagnezję.

Roztwór szenitu poddawany jest ponownemu odparowaniu. Po odparowaniu zawiesina kainitu jest kondensowana i ponownie mieszana z roztworem po oddzieleniu chlorku sodu. Oczyszczony roztwór chlorku magnezu schładza się w celu krystalizacji soli chlorkowych, które są filtrowane i zwracane do etapu krystalizacji kainitu.

Roztwór chlorku magnezu, który powstaje po krystalizacji zawiesiny kainitu, kierowany jest do trzeciego etapu odparowania w dwuciałowym urządzeniu próżniowym w celu zagęszczenia roztworu lub uzyskania krystalicznego chlorku magnezu ( $MgCl_2 \cdot 2H_2O$ ). Roztwór chlorku magnezu może być wykorzystywany jako środek przeciwołdzeniowy, ciecz wiertnicza, do produkcji cementów magnezowych oraz do suszenia gazu ziemnego.

Główne produkty proponowanej technologii to:

- **Kalimagnesia** o zawartości składników odżywczych w % wag.:  $K_2O$  – 28–30;  $MgO$  – 10–12;  $SO_4^{2-}$  – 55–60;  $Cl^-$  – poniżej 2%. Suma składników odżywczych wynosi 60,0%.
- **Sól kuchenna**.
- **BiszoFIT** (stężenie  $MgCl_2$  nie mniejsze niż 45,0%), który może być wykorzystywany do wytwarzania spoiw magnezowych, wysokoczystego tlenku magnezu lub jako środek przeciwołdzeniowy.

Kondensat z jednostek odparowania próżniowego może być wykorzystywany jako ciepła woda technologiczna w szklarniach lub, po schłodzeniu, odprowadzany do naturalnych zbiorników wodnych.

Nowa technologia przetwarzania surowców potasowo-magnezowych z złóż Przedkarpacia (Artus M., Kostiv I., 2015) umożliwi znaczne zwiększenie wydobywania  $K_2O$  z rudy, po-

323 K, coarse crystalline sodium chloride is separated from the suspension. The solution continues to be cooled to 293 K water (10%) is added for crystallization of schoenite. Schoenite is separated by filtration on a centrifuge and dried to obtain a potassium-magnesium fertilizer - kalimagnesia. The schoenite solution is submitted for re-evaporation. After evaporation, the kainite suspension is condensed and returned to mixing with the solution after separation of sodium chloride. The illuminated magnesium chloride solution is cooled for crystallization of chloride salts, which are filtered and returned to the kainite crystallization stage.

The magnesium chloride solution, which is formed after the crystallization of the kainite suspension, is fed to the third stage of evaporation in a two-body vacuum-evaporation plant in order to concentrate the solution or obtain crystalline magnesium chloride ( $MgCl_2 \cdot 2H_2O$ ). Magnesium chloride solution can be used as an anti-icing agent, as a drilling fluid, for magnesium cements, and for drying natural gas.

The main products of the proposed technology are:

- kalimagnesia with nutrient content, wt. %:  $K_2O$  – 28-30;  $MgO$  – 10-12;  $SO_4^{2-}$  - 55-60;  $Cl^-$  - less than 2%. The sum of nutritional components is 60.0%.
- table salt;
- bischofite (concentration of  $MgCl_2$  not less than 45.0%), which can be used to obtain magnesium binders, magnesium oxide of high purity, or as an anti-icing agent.

Condensate from vacuum evaporation units can be used as warm technical water for greenhouses or, after cooling, discharged into natural water bodies.

The new technology for processing potassium-magnesium raw materials from the Fore-Carpathian Basin (Artus M., Kostiv I., 2015) allows for a significant increase in the removal of  $K_2O$  from ore, improves the quality of products, reduces the consumption of energy resources, and reduces the man-made burden on the environment. Additional dissolution of salts from the insoluble residue formed after ore dissolution will contribute to the increase in the production of high-grade table salt. Evaporation of magnesium chloride solutions to magnesium chloride crystal hydrate ( $MgCl_2 \cdot 2H_2O$ ) will allow the list of marketable products to be expanded. The proposed new polymineral ore processing technology can be used during the geological and economic assessment of the reserves of potassium-magnesium raw materials in the Carpathian region and the creation of design and estimate documentation for the construction of an enterprise for the extraction and processing of such raw materials.

## 5. CONCLUSIONS

Potassium is an important element for increasing the productivity of soils, improving the quality of food products, which contributes to the strengthening of human health. Suf-

prawia jakość produktów, zmniejsza zużycie energii oraz redukuje obciążenie środowiska wynikające z działalności człowieka. Dodatkowe rozpuszczanie soli z nierozpuszczalnego osadu powstającego po rozpuszczeniu rudy przyczyni się do zwiększenia produkcji wysokiej jakości soli spożywczej. Odparowanie roztworów chlorku magnezu w celu uzyskania jego krystalicznego hydratowanego związku ( $\text{MgCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) pozwoli poszerzyć asortyment produktów rynkowych. Proponowana nowa technologia przetwarzania rud poliminerałowych może być stosowana przy geologiczno-ekonomicznej ocenie zasobów surowców potasowo-magnezowych w regionie karpackim oraz przy tworzeniu dokumentacji projektowo-kosztorysowej dla budowy zakładu zajmującego się wydobyciem i przetwarzaniem takich surowców.

## 5. WNIOSKI

Potas jest istotnym pierwiastkiem zwiększającym produktywność gleb oraz poprawiającym jakość produktów spożywczych, co przyczynia się do wzmacniania zdrowia człowieka. Duże zasoby krajowych surowców, znaczenie potasu dla roślin i ludzi oraz jego niedobór w glebach stanowią główne czynniki przemawiające za przywróceniem produkcji nawozów potasowych w Ukrainie. Zapewni to zaopatrzenie ukraińskiego sektora rolnego w nawozy potasowe i ograniczy zależność od importu. Produkcja nawozów potasowych na świecie również rośnie. Produkcja nawozów potasowych w Ukrainie została wstrzymana. W wyniku nieefektywnej eksploatacji utrzymują się problemy środowiskowe, które można rozwiązać jedynie poprzez przywrócenie produkcji potasu i przetwarzanie zgromadzonych odpadów solnych.

ficiently large reserves of own raw materials, the importance of potassium for plants and humans, and its deficiency in soils are the main factors in the restoration of potash production in Ukraine. This will ensure the supply of potash fertilizers for Ukraine's agricultural sector and reduce dependence on imports. The production of potash fertilizers worldwide is also growing. Potash fertilizer production in Ukraine has been halted. As a result of inefficient operations, environmental problems remain, which can only be addressed through the restoration of potash production and the processing of accumulated salt waste.

## LITERATURA/REFERENCES

- ARTUS M., KOSTIV I., 2015. Conversion of langbeinite and kieserite in schoenite with mirabilite and silvite in water and schoenite solution. *Journal of Chemical Engineering & Process Technology*, 6(2): 1–3. <http://dx.doi.org/10.4172/2157-7048.1000225>
- HAYDIN A.M., RUDKO G.I., CHIKOVA I.V., 2017. Mining and chemical potential of Ukraine. Kyiv–Chernivtsi: Bukrek, 192 p.
- KOSTIV I., BASYSTYUK Y., 2017. Kinetics of schoenite crystallization from the suspension of saturated solution and artificial kainite. *Chemistry & Chemical Technology*, 11(3): 296–300. <https://doi.org/10.23939/chcht11.03.296>
- KOSTIV I.Y., BASYSTYUK Y.I., 2016. Crystallization of kainite from solutions in system  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  //  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  –  $\text{H}_2\text{O}$ . *Journal of Chemical Engineering & Process Technology*, 7(3): 1–3. <http://dx.doi.org/10.4172/2157-7048.1000298>
- KOSTIV I., KHATSEVICH O., DERZHKO O., 2023. Status and prospects of restoring the production of sulfate potassium fertilizers in the Carpathian region. In: *Proceedings of the Eighth International Scientific and Practical Conference*, October 9–12, 2023, Lviv: 90–100.
- KOSTIV I., KHATSEVICH O., DERZHKO O., SADOVYI Y., 2023. Potash of Fore-Carpathian Basin, its significance and production prospects. In: *Materials of the Eighth International Scientific and Practical Conference*, October 9–12, 2023, Lviv: 358–363.
- KOSTIV I., SPICHAK Y., DERZHKO O., GOLOVCHAK V., 2017. The method of obtaining potassium–magnesium salts from the solution of processing potassium–magnesium ores. Patent No. 115222, published 10.10.2017. IPC: C01D 5/12, C05D 1/02, C01D 3/08.
- LÄNGAUER D., 1935. Osierczanie potasu z naszych złóż solnych. *Przegląd Górniczo-Hutniczy*, 27(1–2): 16–36.
- ORRIS G.J., COCKER M.D., DUNLAP P., WYNN J., SPANSKI G.T., BRIGGS D.A., GASS L., 2014. Potash — A global overview of evaporite-related potash resources, including spatial databases of deposits, occurrences, and permissive tracts. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010–5090–S: 76 p. <http://dx.doi.org/10.3133/sir20105090S>
- RUDKO G.I., PETRYSHYN V.Yu. (eds.), 2017. Salt resources of Precarpathia and prospects for their use. Kyiv–Chernivtsi: Bukrek, 472 p.