



# **Problemy środowiskowe i społeczno-gospodarcze spowodowane działalnością odkrywki Dombrowski zakładu potasowo-magnezowego Kałusz oraz sposoby ich rozwiązania w kontekście odrodzenia przemysłu potasowego na Podkarpaciu ukraińskim**

## **Environmental and socio-economic problems caused by the activities of the Dombrovsky quarry in the Kalush Potash-Magnesium Plant and ways to solve them in the context of the revival of the potash industry in the Ukrainian Forecarpathian**

Yuryij V. SADOVYI<sup>1</sup>, Anatolij R. GALAMAY<sup>2</sup>, Krzysztof BUKOWSKI<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Państwowy Instytut Badawczy i Projektowy Podstaw Chemii (NIOCHIM), Charków, Ukraina, e-mail: ysadovyi@gmail.com

<sup>2</sup> Instytut Geologii i Geochemii Mineralów Palnych, Ukraińska Akademia Nauk, Lwów, e-mail: galamaytolik@ukr.net

<sup>3</sup> Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, e-mail: buk@agh.edu.pl

<sup>1</sup> State Institution State Scientific Research and Design Institute of Basic Chemistry (NIOCHIM), Kharkiv, Ukraine, e-mail: ysadovyi@gmail.com

<sup>2</sup> Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals, NAS of Ukraine, Lviv, Ukraine, e-mail: galamaytolik@ukr.net

<sup>3</sup> Faculty of Geology, Geophysics and Environmental Protection, AGH University of Science and Technology, 30059 Kraków, Poland  
e-mail: buk@agh.edu.pl

W granicach dawnej Galicji (zachodnia Ukraina) występują rzadkie złoża soli potasowo-magnezowej, typu siarczanowego i chlorkowo-siarczanowego o łącznych zasobach soli polimineralnych wynoszących 8315,3 mln ton. Na podstawie danych z badań geologicznych-poszukiwawczych, rozpoznano tam około dwudziestu obszarów koncentracji złóż soli K-Mg (Sadovyi i in., 2018). Najbardziej zbadane zostało złożo Kałusz-Hołyń, gdzie na jednym z odcinków tego złoża (dzielnica Dombrowska) na głębokości 20–30 metrów stwierdzono występowanie grubych pokładów soli poliminerальной. Z tego też względu w latach 50-tych, na początku lat 60-tych XX wieku, po raz pierwszy na świecie w Kałuszu rozpoczęto wydobycie soli potasowo-magnezowych metodą odkrywkową w kamieniołomie (Ryc. 1).

W trakcie istnienia kopalni wydobyto tu 52 mln m<sup>3</sup> skał obejmujących łącznie skały nadkładu, brekcję solną oraz rudę

Within the former Galicia (western Ukraine) borders are rare deposits of potassium-magnesium salt, sulfate, and chloride-sulfate types with total polymineral salt reserves of 8 315.3 million tons. Based on geological-exploration data, about twenty areas of concentration of K-Mg salt deposits have been recognized there (Sadovyi et al., 2018). The most studied was the Kalush-Holyn deposit, where thick deposits of polymineral salt were found at a depth of 20-30 meters in one section of this deposit (Dombrovskaya district). For this reason, in the 1950s, and early 1960s, for the first time in the world in Kalush, the mining of K-Mg salts began using the open-pit method in a quarry (Fig. 1).

During the mine's existence, 52 million cubic meters of rock were mined there, comprising a total of overburden rock, salt breccia and ore - a mixture of potassium and magnesium minerals with halite. At the same time, in the areas adjacent

– mieszaninę minerałów potasowo-magnezowych z halitem. W tym samym czasie na terenach przylegających do dzielnicy Dombrowski te same złoża było eksploatowane metodą górnictw w kopalni podziemnej. Wydobywaniu i przeróbce surowców mineralnych towarzyszyło powstawanie znacznej ilości odpadów stałych i płynnych, które następnie były składowane na wysypiskach i hałdach oraz w stawie osadnikowym, co do dziś negatywnie wpływa na stan ekologiczny środowiska (Ryc. 1).

Ze względu na niedoskonałą technologię przetwarzania surowca (przeróbkę) wprowadzoną w latach 60-tych ubiegłego wieku, udział procentowy pozyskiwania składników użytecznych był niezwykle niski. Doprowadziło to do tego, że zawiesina, która dostała się do odpadów poflotacyjnych zawierała do 50% zawartości K, Mg i siarczanów z ich pierwotnej ilości w wydobytej masie górniczej oraz prawie cały chlorek sodu znajdujący się w rudzie. Obecnie roztwory które wypełniają kamieniołom Dombrowski oraz roztwory skoncentrowane w stawach osadnikowych składowiska są wieloskładnikowe – zawierają jony Na, Cl, Mg, K, SO<sub>4</sub>, Ca. Dominują jony Cl i Na, zawartość jonów Mg, K i SO<sub>4</sub> naturalnie wzrasta wraz z głębokością, a względny udział jonu Ca w ogólnym składzie soli jest niewielki. W wyrobisku stężenie roztworów waha się od 20 g/l na powierzchni do prawie 400 g/l przy dnie. W składowisku odpadów nr 2 – od 60–80 g/l na powierzchni do 400 g/l w dolnej części. Porównanie danych testowych z różnych lat wskazuje na zmianę gęstości, całkowitej mineralizacji i zawartości rozpuszczonych składników soli w czasie, zwłaszcza w górnej części warstwy solanki.

Próbki przypowierzchniowe solanek w południowej części kamieniołomu Dombrowski w 1995 r. wskazywały mineralizację około 180 g/l i więcej, w 2010 r. ok. 130 g/l, w 2013 r. ok. 70 g/l, a w 2018 r. tylko około 25 g/l. Dzieje się tak w wyniku postępującego zalewania kamieniołomu słodkimi wodami pochodzenia atmosferycznego. Można przewidywać, że jeśli proces ten będzie postępował zawartość soli zmniejszy się, a woda będzie zbliżona do lekko słonawej. Stały spadek mineralizacji roztworów występuje również w górnych warstwach solanki w stawach osadnikowych i w zbiornikach szlamu na składowisku odpadów.

Od ponad 50 lat wysoko zmineralizowane roztwory są stale uwalniane do środowiska ze wszystkich tych obiektów i nadkładów kamieniołomu Dombrowski, przedostając się do sieci rzecznej i warstwy wodonośnej. W rezultacie w warstwie wodonośnej w pobliżu miasta Kałusz powstał obszar zasolonych wód gruntowych, który stale się powiększa, rozszerzając się w kierunku południowo-wschodnim (Ryc. 2). Istnieje niebezpieczeństwo dotarcia wód zmineralizowanych do ujęcia miejskiego z odpowiednimi negatywnymi skutkami. Na chwilę obecną informacje o stanie faktycznym warstwy wodonośnej są fragmentaryczne. Jednak dane uzyskane w ostatnich latach wskazują na znaczne pogorszenie sytuacji

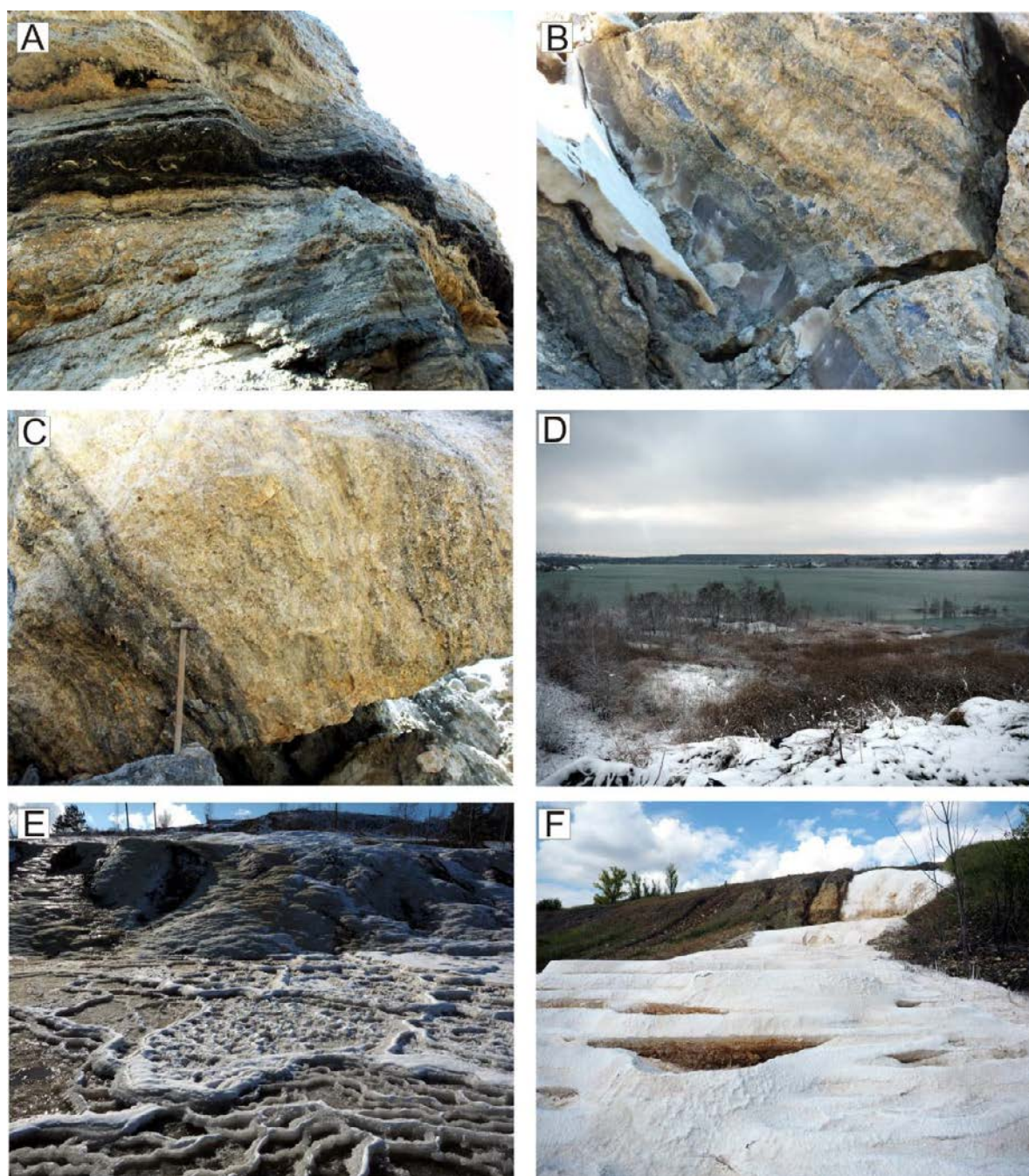
to the Dombrowsky district, the same deposit was exploited using underground mining. The extraction and processing of minerals were accompanied by the generation of a significant amount of solid and liquid waste, which was subsequently dumped in landfills and heaps and in a tailings pond, which still negatively affects the ecological state of the environment today (Fig. 1).

Due to the highly imperfect raw material processing technology introduced in the 1960s, the percentage of valuable constituents extracted was extremely low. It led to the slurry that entered the tailings containing up to 50% of the K, Mg and sulfate content of their original amount in the mined ore and almost all of the sodium chloride found in the ore. Currently, the solutions that fill the Dombrowsky quarry and the solutions concentrated in the landfill's settling ponds are multicomponent - they contain Na, Cl, Mg, K, SO<sub>4</sub>, and Ca ions. Chloride and sodium ions dominate, the content of Mg, K, and SO<sub>4</sub> ions naturally increase with depth, and the content of Ca ions in the overall salt composition is low. In the pit, the concentration of solutions varies from 20 g/l at the surface to almost 400 g/l near the bottom. Landfill No. 2 - from 60-80 g/l at the surface to 400 g/l at the bottom. A test data from different years shows a change in density, total mineralization and dissolved salt content over time, especially in the upper part of the brine layer.

Samples of near-surface brine in the southern part of the Dombrowsky quarry in 1995 indicated mineralization of about 180 g/l and more, in 2010, about 130 g/l, in 2013, about 70 g/l, and in 2018 only about 25 g/l. It is due to the progressive flooding of the quarry with fresh water of atmospheric origin. If this process continues, the salt content will decrease, and the water will be close to slightly brackish. A steady decrease in solution mineralization is also occurring in the upper layers of brine in the settling ponds and the sludge tanks at the landfill. For over fifty years, highly mineralized solutions have been continuously released into the environment from all of these facilities and the overburdened dumps of the Dombrowsky quarry, seeping into the river network and aquifer.

Consequently, an area of saline groundwater has been formed in the aquifer near the city of Kalush, which is constantly growing, expanding in the southeast direction (Fig. 2). There is a risk of saline water reaching the city with corresponding negative consequences. At the moment, information about the actual state of the aquifer is fragmentary. However, the data obtained in recent years indicate a significant deterioration of the technological and ecological situation. In particular, according to the data of well No. 65, located a few hundred meters east of the Dombrowsky quarry and overburdened dumps, the mineralization of solutions in 2006 was less than 20 g/l, and at the end of 2018 – more than 105 g/l. A sharp increase in groundwater salinization began after the intensive





**Ryc. 1.** Odkrywka Dombrowski w Kałuszu. A-C – widok odsłoneń K-Mg soli przed zatopieniem (stan na wrzesień 2011 r.); A – seria surowca kainitowego; B – warstwa langbeinitu w skale kainitowo-langbeinitowej; C – bryła soli kainitowej; D - zatopiony kamieniołom, głębokość solanki w niektórych miejscach przekracza 100m (marzec 2021 r.); E - wykrystalizowany zimą mirabilite na brzegach zbiornika szlamu (marzec 2021 r.); F – tenardyt powstały z dehydratacji mirabilitu na brzegach składowiska odpadów przerobczych nr 1 (lipiec 2022 r.).

**Fig. 1.** The Dombrowski quarry in Kalush. A-C - view of outcrops of K-Mg salts before sinking (as of September 2011); A - kainite series; B - a layer of langbeinite in kainite-langbeinite rock; C - lump of kainite; D - sunken quarry, the depth of brine in some places exceeds 100m (as of March 2021); E - winter crystallized mirabilite on the banks of the slurry reservoir (as of March 2021); F - thenardite formed from dehydration of mirabilite in banks of tailings storage site No. 1 (as of July 2022).

ekologicznej. W szczególności, według danych odwiertu nr 65, położonego kilkaset metrów na wschód od kamieniołomu Dombrowski i zwałowisk nadkładu, mineralizacja roztworów w 2006 r. wyniosła poniżej 20 g/l, a na koniec 2018 r. – ponad 105 g/l. Gwałtowny wzrost mineralizacji wód gruntowych rozpoczął się po intensywnym zalaniu kamieniołomu Do-

flooding of the Dombrowsky quarry. Saline waters spread in the direction of the regional slope of the aquifer – towards the city of Kalush and, presumably, towards the city's water intake on the Limnytsia River (Fig.2).

The catastrophic environmental condition caused by the previous ineffective organization of the operations of the

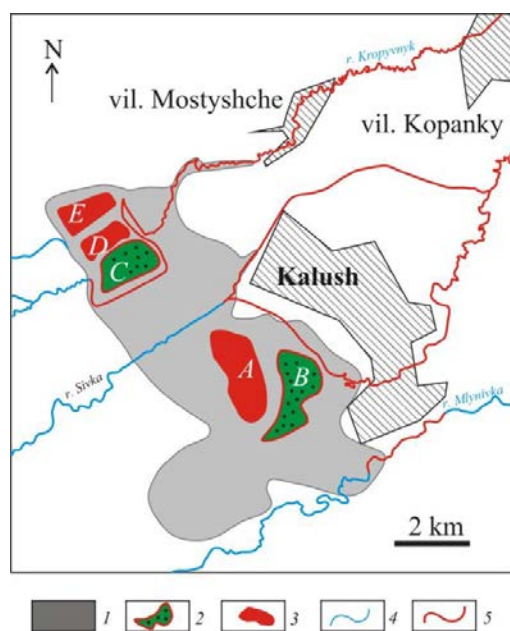
mbrovski. Wody zasolone rozchodzą się w kierunku regionalnego stoku poziomego wodonośnego w kierunku miasta Kałusz i przypuszczalnie w kierunku miejskiego ujęcia wody na rzece Limnytsia (Ryc. 2).

Katastrofalny stan środowiska spowodowany dotychczasową nieefektywną organizacją działalności zakładu potasowo-magnezowego Kałusz oraz wieloletnią bezczynnością w rozwiązywaniu problemów środowiskowych regionu, stanowi zagrożenie dla bezpiecznego życia ludzi. Najbardziej racjonalnym sposobem rozwiązania obecnej sytuacji kryzysowej w tej materii jest przeróbka nagromadzonych solanek z zaplecza technologicznego zakładu. Tego rodzaju prace będą skuteczne, gdy równolegle prowadzony będzie kompleks prac, mających na celu znaczne ograniczenie dopływu opadów atmosferycznych i wód wodonośnych do zagospodarowanej przestrzeni kamieniołomu Dombrovski oraz zapobieżenie przenoszeniu składników soli poza obiekt technologiczne.

W wyniku badań laboratoryjnych przeprowadzonych w Instytucie Badawczym „Halurgia” w Kałuszu opracowano technologię przetwarzania stężonych roztworów pochodzących z kamieniołomu Dombrovski. Gotowe produkty tej technologii to kalimagnezja o zawartości składników (w %):  $K_2O$  – 28.79%;  $MgO$  – 11.73%;  $SO_4^{2-}$  – 59.29%;  $Cl$  – 1.77% (suma składników  $K_2O + MgO = 60.3\%$ ) oraz sól techniczna najwyższej jakości oraz roztwór chlorku magnezu o zawartości  $MgCl_2$  co najmniej 25.0 %, który można wykorzystać do uzyskania spoiw magnezowych lub tlenku magnezu o wy-

Kałusz potash and magnesium plant and many years of inaction in solving the region’s environmental problems threatens the safe existence of people. The most reasonable way to solve the current crisis in this matter is to process accumulated brine from the plant’s technological facilities. Such work will be effective when a complex of works is carried out in a parallel manner, aimed at significantly reducing the inflow of precipitation and aquifers into the developed space of the Dombrovsky quarry and preventing the transfer of salt components outside the technological facilities.

As a result of laboratory tests conducted at the Research Institute “Halurgia”, processing technology for concentrated solutions from the Dombrovsky quarry was developed. The finished products of this technology are calimagnesia with the content of components (in %):  $K_2O$  – 28.79%;  $MgO$  – 11.73%;  $SO_4$  – 59.29%;  $Cl$  – 1.77% (the sum of the components  $K_2O + MgO = 60.3\%$ ) and a technical salt of the highest quality and a solution of magnesium chloride with a concentration of  $MgCl_2$  of at least 25.0%.  $MgCl_2$  can be used to obtain magnesium binders or high-purity magnesium oxide, or crystalline bischofite. The extraction of potassium in calimagnesia is 90.0 %, magnesium – 36.4 %, and sulfate – 94.4 %. According to calculations, 10 m<sup>3</sup> of solution from the Dombrovsky pit will produce 1.1 t of calimagnesia, 2.3 t of industrial salt and 1.90 t of  $MgCl_2$  solution. There is no solid production waste. The proposed approach would make it possible to stop the progressive release of salt components



**Ryc. 2.** Układ zaplecza technologicznego złoża soli potasowo-magnezowych Kałusz-Holyn (Sadovyi i in., 2022). Objasnienia: 1 – obszar zasolonych warstw wodonośnych; 2 – zrehabilitowane obiekty zasolone na powierzchni; 3 – zbiorniki z solankami; 4 – cieki wodne niezasolone, 5 – cieki wodne zasolone. A – kamieniołom Dombrovski; B – zwałowisko soli i skał nadkładu, C – składowisko odpadów przerobczych nr 1; D – zbiornik szlamu; E – staw osadnikowy, składowisko odpadów przerobczych nr 2.

**Fig. 2.** Layout of the technological facilities of the Kalush-Holyn potassium-magnesium salt deposit (Sadovyi et al., 2022). Explanations: 1 – an area of saline aquifers; 2 – reclaimed saline objects on the surface; 3 – saline reservoirs; 4 – non-saline watercourses; 5 – saline watercourses. A – Dombrovsky quarry; B – salt and overburden rock dump; C – tailings storage facility No. 1; D – sludge reservoir; E – settling pond, tailings storage facility No. 2.



sokiej czystości lub krystalicznego biszofitu. Odzyskiwanie potasu w kalimagnezji wynosi 90.0%, magnezu – 36.4%, a siarczanów – 94.4%. Według obliczeń z 10 m<sup>3</sup> roztworu z wyrobiska Dombrowskiego powstanie 1.1 t kalimagnezji, 2.3 t soli przemysłowej i 1.90 t roztworu MgCl<sub>2</sub>. Nie ma stałych odpadów produkcyjnych.

Zaproponowane podejście umożliwiłoby zatrzymanie postępującego procesu uwalniania składników soli do środowiska i uruchomienie produkcji przy jednoczesnym rozwiązaniu problemów środowiskowych i społeczno-gospodarczych miasta Kałusz.

Skuteczne rozwiązanie problemów środowiskowych spowodowanych nieefektywnymi technologiami rozwoju i przetwarzania surowców polimineralnych, a tym samym skrajnie nieracjonalne wykorzystanie zasobów soli potasowo-magnezowych złoża Kałusz-Hołyń (a także złoża Stebnik), otwiera możliwości rozwoju innych obiecujących obszarów na Przedkarpaciu i odrodzenie przemysłu potasowego w perspektywie długoterminowej. Będzie to ułatwione przez zastosowanie najnowszych technologii wydobywczych. W ostatnich latach w Instytucie Badawczym „Halurgia” opracowano kilka opcji schematów technologicznych przetwarzania złóż soli polimineralnych, które różnią się od stosowanych dotychczas technologii znacznie wyższym pozyskaniem składników użytecznych z surowców oraz brakiem konieczności budowy obiektów składowisk odpadów poflotacyjnych.

**Słowa kluczowe:** Odkrywka Dombrowski w Kałuszu, sole potasowo-magnezowe, problemy środowiskowe, problemy społeczno-ekonomiczne

into the environment and start production while solving the environmental and socio-economic problems of the city of Kalush.

The successful resolution of environmental problems caused by inefficient technologies for processing polymineral raw materials, and thus the highly irrational use of the potassium-magnesium salt resources of the Kalusz-Holyn deposit (as well as the Stebnik deposit), opens up opportunities for the development of other promising areas in the Forecarpathian region and the revival of the potash industry in the long term. This will be facilitated by the application of the latest mining technologies. In recent years, the Research Institute “Halurgia” has developed several options for technological schemes for the processing of polymineral salt deposits, which differ from the technologies used to date by significantly higher extraction of valuable components from raw materials and by not having to build tailings storage facilities.

**Key words:** Dombrowski quarry in Kalusz, potassium-magnesium salts, environmental problems, socio-economic problems

## LITERATURA/REFERENCES

САДОВИЙ Ю. В., ГАЛАМАЙ А. Р., СИДОР Д. В. 2019. Перспективи розвитку калійної промисловості Передкарпаття // Матеріали VIII науково-практичної конференції «Мінерально-сировинні багатства України: шляхи оптимального використання». – Хорошів, Україна. – 4 жовтня 2019. – С. 215–221.

САДОВИЙ Ю. В., ГАЛАМАЙ А. Р., СИДОР Д. В. 2022. Екологічний стан та проблеми охорони водотоків у районі Калузького калійно-магнієвого заводу. XX Міжнародна науково-практична конференція „Ресурси природних вод карпатського регіону”. Проблеми охорони та раціонального використання. – Львів, Україна. – 26-27 травня 2022, 34–35.