

Д-р геол.-мин. наук Л. С. Галецкий<sup>1</sup>, д-р геол. наук Е. А. Ремезова<sup>1</sup>, С. М. Лупинос<sup>2</sup>,  
д-р хим. наук Д. В. Прутцков<sup>2</sup>, д-р техн. наук И. Ф. Червоный<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт геологических наук НАН Украины г. Киев, <sup>2</sup>ГП Государственный научно-исследовательский и проектный институт титана г. Запорожье, <sup>3</sup>Государственная инженерная академия, г. Запорожье

## О ВОЗМОЖНОСТИ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТАЛЬКО-МАГНЕЗИТОВ УКРАИНЫ (НА ПРИМЕРЕ ВЕСЕЛЯНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ)

*Рассмотрены расположение, геологическая структура и минералогический состав Веселянского месторождения талько-магнезитов и серпентинитов, дана оценка запасов месторождения. Приведены результаты разработки высокоэффективной технологии производства магния из магнезита, рассмотрены возможные направления комплексного вовлечения руд месторождения в промышленное производство. Показана целесообразность ревизии месторождений магнезита Украины и постановки разведки на наиболее перспективных из них.*

**Ключевые слова:** порода, железо-кремнистая формация, талько-магнезит, серпентинит карбонатизированный, брейнерит, технология, скорость хлорирования, хлормагниевого расплава.

### Введение

В настоящее время Украина практически не имеет собственной развитой минерально-сырьевой базы магния и свои потребности в этом сырье удовлетворяет за счет импорта магнезита из России, Китая, Словакии и Турции (до 500 тыс. т в год). Вместе с тем, недра Украины имеют значительный потенциал магнезиальных руд (до 8–10 % мировых запасов). В работах [1–3, 5, 6] были рассмотрены вопросы геологического строения Правдинского и других месторождений и рудопроявлений, сделана их геолого-экономическая оценка и указаны перспективы их использования. В работе [7] проведен детальный анализ минерально-сырьевой базы талько-магнезитов Украины и сделан вывод о том, что настоящее ее состояние, масштабы и ресурсы не отвечают современным экономическим требованиям. Месторождения магнезитов изучались в 50–60-е годы XX в., но сегодня, в связи с развитием современных технологий, существенно изменились требования к добываемому сырью. Поэтому необходимо провести переоценку всей минерально-сырьевой базы. В статье [5] дана оценка запасов месторождений, рассмотрены возможные направления вовлечения руд в промышленное производство. Проблема комплексного использования руд Капитановского рудного поля освещена в [4].

### Материалы и методика исследований

В процессе работы нами изучены фондовые материалы ГНПП «Геоинформ» (описания керна скважин, картографические материалы, геологические разрезы, результаты химических анализов пород и руд, описания шлифов), на основе которых с помощью геологических, минералогических и петрографических мето-

дов проведен комплексный анализ перспективности месторождений магнезитов.

Исследование процесса получения хлормагниевого расплава из магнезита осуществлено на лабораторной, экспериментальной и пилотной установках с применением и разработкой современных физико-химических методов анализа механизма и кинетики процесса, исходных и получаемых технологических продуктов.

### Теория и анализ полученных результатов

В Украине известны два месторождения талько-магнезитов Правдинское и Веселянское, а также ряд перспективных проявлений. **Веселянское месторождение** талько-магнезитов открыто в 1952–1955 гг. и локализуется в 15 км к юго-востоку от железнодорожной станции Фисаки, на левом склоне реки Конка, близ с. Веселянка Запорожского района Запорожской области в 25 км от г. Запорожья, на автострате Москва – Симферополь. Район расположения месторождения сложен кристаллическими сланцами докембрия (серпентинитами, тальк-карбонатными, тальк-хлоритовыми, хлорит-амфиболовыми породами). Изучаемый объект представлен тремя разьединенными между собой круто падающими (70... 80°) залежами, вмещающими линзы и прослойки серпентинитов (рис. 1).

Первая залежь имеет форму линзовидного тела, вытянутого в широтном направлении. Она прослеживается по простиранию на 600 м при мощности от 50 к 100 м; на глубину залежь прослеживается до 100 м. Породы залежи на севере перекрываются хлоритовыми и кварц-хлоритовыми сланцами. В южной части

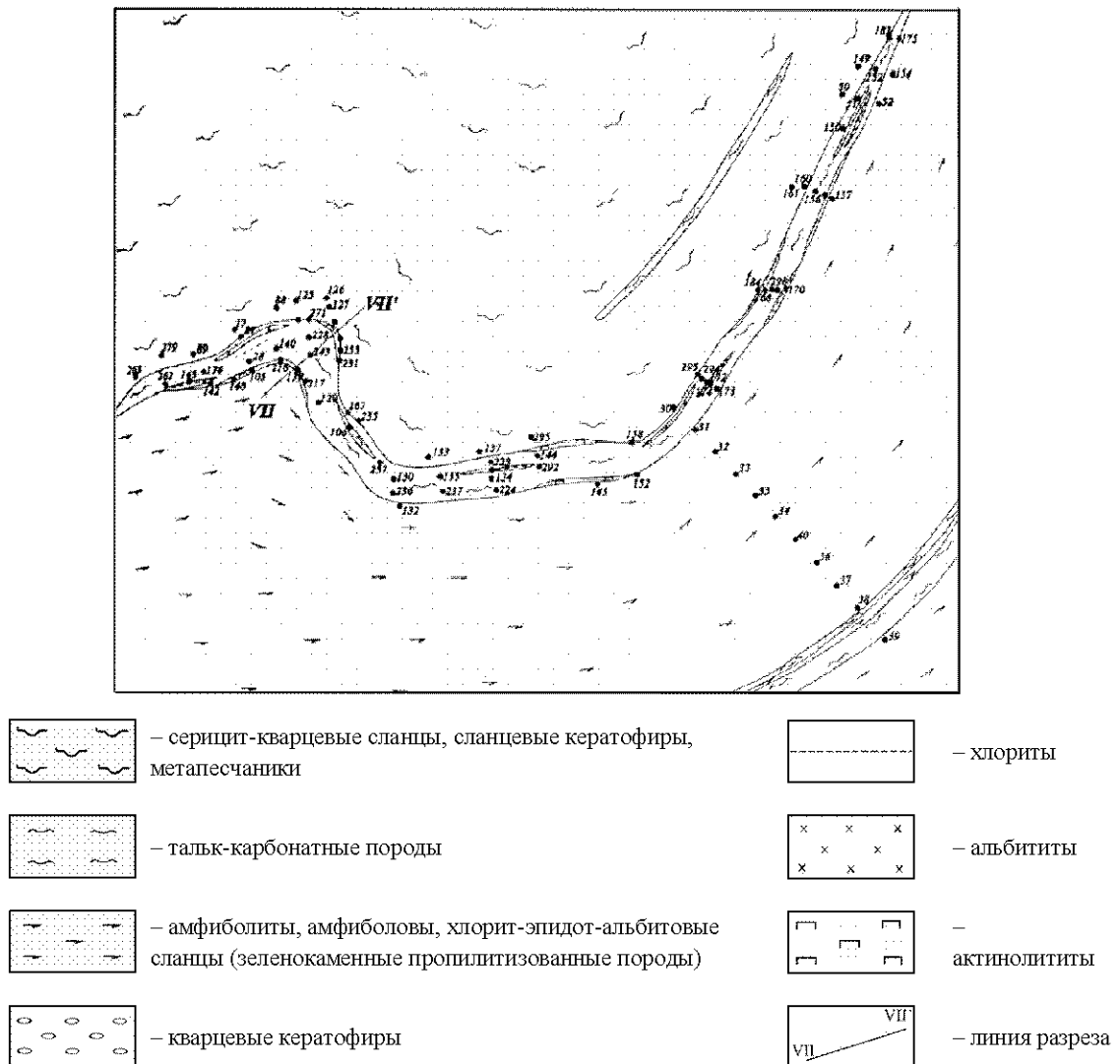


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Веселянского месторождения талько-карбонатных пород

прослеживается контакт и переслаивание талько-магнетитовых пород с амфиболитами и актинолитовыми сланцами. Встречаются граниты, которые в виде жил вскрывают породы железистой формации. Залежь талько-магнетитов содержит прослойки хлоритовых, биотитовых и биотит-хлорито-тальковых сланцев мощностью 0,2... 2,0 м.

Вторая залежь более мощная и расположена к юго-востоку от первой на расстоянии 250 м. Простираение залежи широтное, но через 80 м оно резко меняется на северо-западное. Залежь прослежена на 1280 м и на глубину до 100 м, мощность ее составляет 75–180 м. Падение залежи крутое на северо-восток под углом 75... 80°. В зоне залежи встречаются розовые жильные граниты. Талько-магнетиты имеют следующий минеральный состав (%): магнетит – 24–63, тальк – 16–48 %, серпентин – 3,0–30, магнетит – 3,0–8,0 %. Выявлены прожилки благородного зеленовато-голубого талька мощностью 5–20 см.

Третья залежь прослежена на 500 м при мощности до 100 м. Она имеет субширотное простирание и падение под углом 80... 85°. Установлено присутствие чистого талько-магнетита, состоящего из одинаковых количеств талька и магнетита, а также талько-серпентинит-магнетита, в котором тальк играет второстепенную роль, а основными минералами является брейнерит и серпентин (антигорит). Магнетит находится в переменном количестве и преобладает над антигоритом [7].

Наиболее распространенная разновидность талько-магнетита – зеленовато-серая порода, плотная, жирная на ощупь, пористая, грубосланцеватая. Отмечается хорошая блочность – характерное свойство пород, пригодных для вышпиливания огнеупорного кирпича. Содержание минералов по месторождению составляет, %: магнетит – 46... 92; тальк – 42... 77; магнетит – 1,5... 10; кварц – 1,0... 2,0; пирит – до 1,0. Химический состав талько-магнетита относительно постоянен (мас-

сов. доля, %): MgO – 18,5... 36,6; SiO<sub>2</sub> – 30,8; TiO<sub>2</sub> – 0,04; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,2-0,9; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,1... 4,5; FeO – 4,5... 6,6; MnO – 0,08... 0,2; CaO – 1,28; (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) – 0,08... 0,16; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0,02; SO<sub>3</sub> – 0,4... 0,5; NiO – 0,36; CoO – 0,028; H<sub>2</sub>O – 0,06... 0,78; CO<sub>2</sub> – 25,0; п.п.п. – 24,80. В породах также содержатся элементы-примеси: Cr, Zr, Cu, Pb, Ag, P, Zn [3]. Серпентиниты имеют следующий химический состав (%): MgO – 37,25; SiO<sub>2</sub> – 34,02; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 1,40; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 3,43; FeO – 4,60; CaO – 0,30; п.п.п. – 18,4.

Из руд Веселянского месторождения после обогащения получен магнезит такого химического состава (%): MgO – 37,5–38,5; SiO<sub>2</sub> – 2,1–2,3; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 1,4–2,1; FeO – 5,8–6,1; CaO – 2,5–3,0; CO<sub>2</sub> – 46,5–48,0. По содержанию железа полученный концентрат отвечает брейнериту.

Веселянское месторождение разведано в 1957 году, запасы его не утверждены. Они составляют по категориям (тыс. т): А – 16338, В – 13717, С<sub>1</sub> – 102204, А+В+С<sub>1</sub> – 132260. Прогнозные ресурсы по категории Р<sub>2</sub> до глубины 200 м составляют 250 млн. т. Вскрыша мощностью 40–80 м представлена корой выветривания и песчано-глинистыми рыхлыми отложениями. Месторождение представляется очень перспективным и его реальная значимость может быть уточнена после постановки детальной разведки. Учитывая содержание в рудах ценных примесных элементов, целесообразно провести дополнительные технологические исследования с целью разработки схемы комплексного освоения этого объекта.

В настоящее время проведена комплексная оценка Капитановского рудного поля, где в Тарноватском массиве выявлены магниевые руды. Они представлены рудными телами продолговатой линзовидной формы длиной 100–1000 м и более и мощностью от 20–60 м до 600 м. Основу руды составляют аподунитовые серпентиниты. Залегание пород с вмещающими породами согласное. Поисковыми скважинами они прослежены на глубину 300–700 м. Химический состав серпентинитов следующий (%): MgO – 40,20; SiO<sub>2</sub> – 32,60; TiO<sub>2</sub> – 0,06; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,66; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 6,90; FeO – 2,61; MnO – 0,08; CaO – 0,29; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0,02; K<sub>2</sub>O – 0,06; Na<sub>2</sub>O – 0,06; SO<sub>3</sub> – 0,13; Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 0,43; NiO – 0,39; CoO – 0,01; H<sub>2</sub>O – 0,22; п.п.п. – 15,09. Минеральный состав магниевых руд представлен хризотилом (преобладающий минерал), лизардитом, серпофитом, баститом, шпинелью и карбонатами.

Предполагается, что эти объекты пополняют минерально-сырьевую базу магния Украины. При этом, объекты Капитановского рудного поля являются комплексными, и кроме магниевых целесообразно также добывать хромитовые руды, руды силикатного никеля. Из магниевых руд дополнительно возможно получать никель-кобальтовый концентрат, оксид железа, чистый кремнезем, золото, минералы плагинной группы [4].

## Направления комплексной переработки талько-магнезитов

В настоящее время промышленно освоена переработка магнезита в различных отраслях.

Основным качественным параметром магнезита является его высокая термостойкость, что обусловило его значительное потребление в огнеупорной промышленности. Обожженный магнезит используется для получения спеченных и плавящихся металлургических порошков (магнезитовых, хромомagneзитовых, форстеритовых, периклазовых электротехнических), из которых производят кирпичи, стаканы, клинья, вкладыши и другую продукцию огнеупорного назначения. В последние годы возрастает тенденция к увеличению доли потребления современных (магнезиальных и периклазо-углеродистых) огнеупоров как в доменном, так и в сталеплавильном производстве.

Возрастает потребление магнезитовых руд для производства строительных материалов (отделочных камней и плит, бетонов, поргланцементов, шлакоситаллов, спецстекла, в том числе экологически чистых магнезитовых плит, которые в ближайшем будущем могут заменить гипсокартонные.

Новым интенсивно развивающимся направлением использования магнезиального сырья в Западной Европе и США является производство теплонакопителей, позволяющих существенно экономить энергоресурсы.

В значительных объемах породы потребляются для производства цемента Сореля и серной кислоты, в качестве наполнителя в различных производствах, в качестве удобрения и мелиоранта для кислых почв. Также сырье используется в производстве огнеупорных красок, в сахарной, резиновой, бумажной, химической и керамической промышленности.

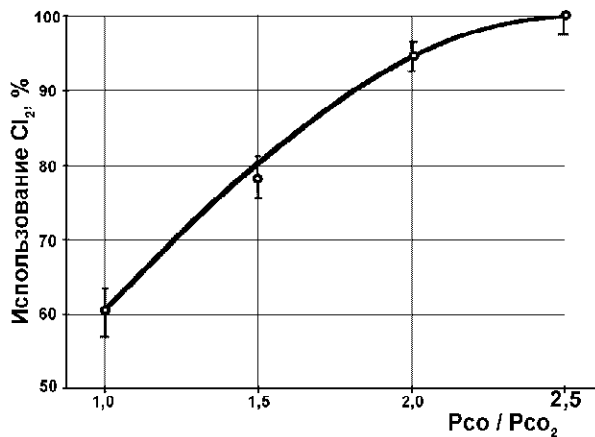
В небольших объемах оксид магния применяется для производства многочисленных медицинских препаратов на основе жженной магнезии и хлорида магния. В мире (Австралия, Канада, США, Бразилия) встречается магнезит ювелирного качества, имеющий коллекционное значение, опализированный и поделочный магнезит.

## Получение магния из магнезита

Известные технологические схемы извлечения магния из серпентинита или отходов производства асбеста основаны на солянокислотном выщелачивании руды и последующей переработке хлормagneзиевых растворов и кремнеземсодержащего остатка [8]. Другая технология базируется на выщелачивании оксидного магнезиевого сырья хлористым аммонием [9]. Однако промышленная реализация этих технологий требует существенных капитальных затрат и производственных площадей на создание и эксплуатацию гидрometаллургического передела.

Более короткий технологический и менее капиталоемкий путь разработан в ГП «ГНИИ Институт титана», где в 2010–2012 гг. выполнен комплекс работ [10–17], завершающих разработку основ высокоэффективной технологии производства хлормagneзиевых расплавов из магнезитов для электролитического получения магния.

В ходе исследования механизма и кинетики процесса хлорирования в присутствии твердого восстановителя [11, 12] показана целесообразность замены твердого восстановителя, используемого в процессе, на газообразный – оксид углерода. При исследовании механизма взаимодействия магнезита со смесью хлора и оксида углерода установлена диффузионная природа процесса, изучены закономерности массопереноса в системе, теоретически и экспериментальным путем определены условия равноставки газовых реагентов к поверхности хлорируемого магнезита [10]. Это позволило достичь максимальной скорости процесса хлорирования при полном усвоении хлора (рис. 2).



**Рис. 2.** Зависимость степени использования хлора при хлорировании магнезита от соотношения парциальных давлений газовых реагентов  $P_{CO}/P_{Cl_2}$  (высота реакционного слоя 1,0 м; скорость газового потока  $12,95 \cdot 10^{-2}$  м/с; температура в зоне реакции 1153–1313 К)

Разработанная технология реализована на пилотной установке в хлораторе шахтного типа с внутренним диаметром шахты 0,3 м [14]. Массовая доля компонентов в получаемом на установке расплаве дихлорида магния за период испытаний составляла, %:  $MgCl_2$  – 97,0–98,8;  $CaCl_2$  – 0,7–1,2;  $MgO$  – 0,3–0,6;  $SiO_2$  – 0,008–0,04;  $Fe_{\text{св}}$  – 0,001–0,006;  $Al$  – 0,001–0,004;  $SO_4$  < 0,02. По содержанию основных примесей получаемый продукт полностью удовлетворяет требованиям электролитического передела для всех типов электролизеров, эксплуатируемых в странах СНГ.

В сравнении с ранее эксплуатировавшейся технологией хлорирования магнезита, новая технология, базирующаяся на газификации восстановителя, позволяет:

- существенно сократить и упростить аппаратурно-технологическую схему подготовки сырья к процессу хлорирования (устранено семь переделов), понизить капиталоемкость технологии;

- повысить скорость хлорирования магнезита и удельную производительность хлоратора в 3 раза (до 6,5–7,0 т  $MgCl_2$  /м<sup>2</sup>·сутки);

- понизить содержание примесей и улучшить качество получаемого хлоридного расплава, что позволяет улучшить показатели последующего процесса электролитического восстановления хлорида и повысить качество производимого электролитического магния;

- достигнуть практически полного использования хлора в процессе, что обуславливает сокращение его удельного расхода и снижение затрат на газоочистку;

- снизить удельный расход сырья на 10 %, уменьшить удельное энергопотребление на 15–20 %, повысить экономическую эффективность технологии.

При промышленном оформлении разработанной технологии это даст существенное снижение капитальных затрат и себестоимости получаемого расплава хлорида магния и производимого из него магния. Полученные результаты позволяют реально рассматривать магнезит в качестве эффективного сырья для переработки с использованием хлорных технологий в магниевой промышленности.

В приведенных исследованиях и разработках использованы магнезиты Киргитейского и Саткинского месторождений (Россия) с незначительным содержанием примесей (до 2,0–3,0 %). Переработка магнезитов Веселянского месторождения, в которых содержание сопутствующих минералов более высокое, вероятно, потребует предварительное технологическое опробование их руд и, возможно, разработку методов очистки от сопутствующих примесей.

Тем не менее, наличие развитой инфраструктуры в районе локализации месторождения, возможные умеренные эксплуатационные расходы при его разработке, позволяют рассматривать Веселянское месторождение, как достаточно перспективное.

Особенно учитывая, что месторождение расположено в 25–30 км от запорожских предприятий – титано-магнезиевого комбината (ГП «ЗТМК»), ЧАО Завода полупроводников и ПАО «Запорожогнеупор».

Это создает определенную перспективу комплексного использования его руд, особенно, если с использованием методов селективного и комплексного хлорирования кремнеземсодержащие минералы удастся вскрыть с получением хлоридов кремния и последующим производством технического или поликристаллического кремния. Потенциальная возможность извлечения кремния в виде хлоридов отмечена ранее [18] при комплексном хлорировании титано-кремниевых концентратов.

Другой перспективой для комплексной переработки является возможность извлечения в процессе хло-

рирования и разделения Ni, Co, Cr, Zr, Cu и других сопутствующих элементов.

### Выводы

В последние годы переоценка минерально-сырьевой базы магнезита Украины не проводилась. Однако, учитывая, что в настоящее время экономические и промышленные требования к этому сырью изменились, целесообразно провести дополнительное технологическое опробование перспективных объектов и выполнить их переоценку. Это позволит расширить минерально-сырьевую базу для огнеупорной и магниевой промышленности. Вопрос об эффективности использования магнезитов Веселянского и других украинских месторождений в металлургической отрасли для производства магния и других сопутствующих элементов должен быть решен на основе предварительного исследования и технологического опробования руд и концентратов этих месторождений.

### Список литературы

1. Антонов Г. И. Исследование талько-магнезитовых руд Правдинского месторождения в качестве сырья для огнеупорной промышленности / Г. И. Антонов, В. П. Недосвитый, А. С. Кулик // Огнеупоры. – 1995, №1. – С. 7–21.
2. Бондарчук В. Г. Геологія родовищ корисних копалин України / В. Г. Бондарчук. – К. : Наукова думка. – 1966. – 302 с.
3. Бордогов В. П. Магнезит и талько-магнезит (геолого-экономический обзор) / В. П. Бордогов. – К. : Геоинформ, 1997. – 25 с.
4. Бочевар Р. О. Геолого-економічна оцінка комплексних руд Капітанівського рудного поля (Голованівська шовна зона) : автореф. на здобуття наук. ступеня канд. геол. наук : спец. 04.00.19 «Економічна геологія» / Р. О. Бочевар. – К. : 2012 – 20 с.
5. Перспективы освоения минерально-сырьевой базы магнезита Украины / [Л. С. Галецкий, Е. А. Ремезова, С. М. Лупинос и др.] // Геологічний журнал. – 2012. – № 1. – С. 48–56.
6. Комов И. Л. Геологические и геолого-экономические черты метаморфогенного сырья Украинского щита / И. Л. Комов, Е. А. Кулиш // Збірник наукових праць Ін-ту геолім. навкол. середовища. – К. : 2002. – вип. 5–6. – С. 184–198.
7. Металічні і неметалічні корисні копалини України. Том II. Неметалічні корисні копалини / [Д. С. Гурський, К. Ю. Єсипчук, В. І. Калінін та ін.] ; наукові редактори: Щербак М. П., Гошовський С. В. – Київ-Львів : «Центр Європи», 2006. – 552 с.
8. Фрейдлина Р. Г. Комплексная переработка промышленных отходов с получением сырья для производства магния и кремнеземной продукции / Р. Г. Фрейдлина, В. И. Грибов // Цветная металлургия. – 2010, № 6. – С. 29–37.
9. Исследования по подготовке оксидного магниевого сырья к электролитическому получению магния / [В. И. Щеголев, А. Н. Татакин, А. Б. Безукладников и др.] // Цветные металлы. – 2000, № 1. – С. 52–55.
10. Прутцков Д. В. Закономерности механизма взаимодействия магнезита со смесью хлора и оксида углерода и массоперенос в рассматриваемой системе / Д. В. Прутцков, С. М. Лупинос, Ю. М. Рябухин // Теория и практика металлургии. – 2010, № 3–4 (76–77). – С. 110–116.
11. Лупинос С. М. Исследование процессов хлорирования оксидного магниевого сырья с использованием твердого восстановителя / С. М. Лупинос // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2011. – № 2 (267). – С. 75–79.
12. Lupinos S. M. Investigation of Mechanism and Kinetics of Magnesium Oxide Chlorination Based on the «Method of Separated Reagents» / S. M. Lupinos, D. V. Prutskov // Journal of Materials Science and Engineering A. – 2012. – Vol. 2. – № 3. – P. 367–371.
13. Лупинос С. М. Разработка технологии получения хлормagneзиевых расплавов из природного карбоната магния / С. М. Лупинос, Д. В. Прутцков, А. Н. Петрунько // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2010. – № 4 (262). – С. 98–102.
14. Прутцков Д. В. Исследование процесса хлорирования магнезита смесью хлора и оксида углерода на пилотной установке / Д. В. Прутцков, С. М. Лупинос, Н. П. Криворучко // Металургія: наукові праці ЗДІА. – Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2010, вип. 21. – С. 33–43.
15. Альтернативные источники сырья и технологии для компенсации потерь магния-восстановителя при производстве губчатого титана / [С. М. Лупинос, Д. В. Прутцков, Н. П. Криворучко и др.] // Титан. – 2010. – № 4 (30). – С. 4–12.
16. Prutskov D. V. Intensification of The Process for Magnesite Chlorination in Shaft Furnaces Using a Gaseous Reductant / D. V. Prutskov, S. M. Lupinos, A. N. Petrun'ko // Non-Ferrous Metals-2010. Proceedings of the Second International Congress. – Krasnoyarsk, 2010. – P. 164–170.
17. Лупинос С. М. Влияние состава расплава на кинетику процесса хлорирования карбоната магния смесью хлора и оксида углерода / С. М. Лупинос, Д. В. Прутцков, Ю. А. Динник // Теория и практика металлургии. – 2011, № 3–4 (82–83). – С. 78–82.
18. Дрожжев В. И. Переработка титано-кремниевых концентратов методом хлорирования / В. И. Дрожжев, В. А. Ильичев // Металлургия и химия титана. Научные труды Института титана. – М. : Металургія. – 1968. – Т. 2. – С. 105–110.

Одержано 07.12.2012

**Галецький Л.С., Ремезова Є.А., Лупинос С.М., Прутцків Д.В., Червоний І.Ф. Про можливості комплексного використання родовищ талько-магнезитів України (на прикладі Веселянського родовища)**

*Розглянуто розташування, геологічну структуру та мінералогічний склад Веселянського родовища талько-магнезитів і серпентинітів, дана оцінка запасів родовища. Приведено результати розробки високоефективної технології виробництва магнію з магнезиту, розглянуто можливі напрямки комплексного залучення руд родовища у промислове виробництво. Показана доцільність ревізії родовищ магнезиту України і постановки розвідки на найбільш перспективних з них.*

*Ключові слова: порода, залізо-кремниста формація, талько-магнезит, серпентиніт карбонатизований, брейнерит, технологія, швидкість хлорування, хлормагнієвий розплав.*

**Galetskyi L., Remezova E., Lupsnos S., Pruttskov D., Chervonyi I. Possibility of complex application of talc-magnesite fields in Ukraine (by example of Veselyanka field)**

*Location, geological structure and mineralogical composition of Veselyanka field of talc-magnesites and serpentinites and the reserves of the field have been estimated. The results of high-efficiency technology development for production of magnesium from magnesite were provided, the feasible directions of comprehensive field ores involvement in the commercial production have been contemplated. The expedience of revising the magnesite fields in Ukraine and organization of prospecting at the most promising fields has been shown.*

*Key words: rock, iron-siliceous formation, talc- magnesite, serpentinite carbonated, breunerite, technology, rate of chlorination, chlormagnesium melt.*

---