

Д-р техн. наук геол.-мин. наук Л. С. Галецкий<sup>1</sup>,  
канд. геол.-экон. наук Н. Н. Черниенко<sup>1</sup>, канд. техн. наук С. Д. Венцев<sup>2</sup>, С. А. Сидоренко<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Институт геологических наук НАН Украины, г. Киев;

<sup>2</sup> Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, г. Киев;

<sup>3</sup> ГП «Государственный научно-исследовательский и проектный институт титана», г. Запорожье

## НОВЫЕ ХЛОРИДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ РЕДКОМЕТАЛЬНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ МАЗУРОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

*Рассмотрены геологическая структура и минералогический состав Мазуровского месторождения нефелин-редкометальных руд и результаты работ, направленных на возобновление его отработки. Показана целесообразность опробования современных технологий хлорирования и восстановления для переработки редкометальных концентратов месторождения.*

**Ключевые слова:** порода, циркон, пироклор, ниобий, концентрат, технология, скорость хлорирования, оксид углерода, субхлорид, высокоскоростная металлургия.

### Введение

Украина обладает достаточно развитой минерально-сырьевой базой редких металлов, однако в настоящее время эксплуатация редкометальных объектов приостановлена. До 70-х годов XX в. мариуполитовые рудные породы Мазуровского месторождения активно разрабатывались как источник получения цирконовых концентратов.

В 2003 г. на «ММК им. Ильича» поднят вопрос о возобновлении отработки Мазуровского месторождения как источника полевошпатового сырья, с сопутствующим извлечением редких металлов. В связи с разработкой новых технологий хлорирования и восстановления металлов, осуществленной за последнее десятилетие, их включение в технологическую схему переработки редкометальных концентратов Мазуровского месторождения может существенно повысить экономическую эффективность переработки.

### Геолого-минералогические особенности Мазуровского месторождения

В структурном отношении Мазуровское [3, 6] месторождение представляет собой жильное поле, в пределах которого расположено 16 свит (продуктивных залежей) субпараллельных пологозалегающих тел с этажным распределением по вертикали, охватывающих вертикальный интервал до 600 м. В объеме выделенных свит оконтурено 44 рудных тела. Основу природных разновидностей руд составляют мариуполит, нефелиновый пегматит и полевошпатовый метасоматит.

Главными промышленно ценными минералами при комплексном использовании руд являются циркон и пироклор, сопутствующими – нефелин, полевошпат, ильменит, бритоцит.

Пироклор развит в виде тонкого вкрапления. Наряду с равномерным вкраплением встречается его кон-

центрация в виде струй и цепочек. Размер кристаллов колеблется от 0,01 мм до 9 мм, причем, большинство из них (до 80 %) имеет размер в интервале 0,08–0,15 мм. Модальный размер зерен пироклора в полевошпатовых метасоматитах 0,1 мм, в мариуполитах и пегматитах – от 0,25 мм до 0,35 мм.

По форме кристаллов преобладают октаэдры, искаженные октаэдры, встречаются изометрические зерна и агрегаты зерен. Удовлетворительное вскрытие (до 80 %) пироклор достигает при измельчении до крупности 0,06 мм.

Циркон распространен в виде бипирамидальных кристаллов величиной от 0,1 до 15 мм, обычно 3 мм. Хорошо отделяется из сростков при дроблении руды. Удовлетворительное вскрытие происходит при крупности помола 2 мм.

Нефелин образует кристаллы от нескольких миллиметров до нескольких дециметров, он хорошо обогащается. Его химический состав непостоянен. Наиболее изменчиво содержание щелочей. Количество оксидов натрия меняется от 3% до 17%, оксидов калия – от 4 до 7 %. Содержание глинозема – практически на одном уровне – 32–34%.

В 50–60-х годах XX в. редкометальные руды месторождения мариуполитов активно разрабатывались как источник циркония [1, 3, 6, 7]. По гравитационной схеме перерабатывались рыхлые руды коры выветривания, из которых получали цирконовый концентрат, перерабатывавшийся на Донецком химико-металлургическом заводе. Остальные редкие металлы не извлекались из-за низких содержаний и отсутствия технологии их обогащения. После отработки коры выветривания добыча цирконового концентрата была прекращена.

В конце 50-х годов руды месторождения начали рассматривать также и как источник получения пироклорового и полевошпатового продуктов [1, 3, 6, 7].

В 2003 г. по инициативе специалистов Института геологических наук НАН Украины и ХМФ ОАО «ММК им. Ильича» был поднят вопрос о возобновлении отработки Мазуровского месторождения как источника полевошпатового сырья, с попутным извлечением редких металлов, что могло повысить рентабельность производства [7].

На месторождении была отобрана технологическая проба из частных керновых проб, специально пройденных для этой цели скважин, полностью пересекающих первую и вторую рудные залежи. Массовая доля компонентов в пробе составила, %:  $Nb_2O_5$  – от 0,01 до 1,8 в среднем – 0,118;  $Ta_2O_5$  от 0,0005 до 0,075, в среднем – 0,057;  $ZrO_2$  – от 0,02 до 6, среднее – 0,470; соотношение Nb/Ta – 20,1; Zr/Nb – 3,7, что является характерным для всего месторождения.

Направлениями дальнейших исследований пробы стали разработка технологии комплексной переработки коренных руд Мазуровского месторождения методами механического обогащения с целью получения ниобиевого продукта, маложелезистых полевых шпатов и цирконового концентрата, а также отработка технологии хлорирования ниобиевого продукта с выделением товарного пентоксида ниобия и тетрахлорида кремния, используемого для кремниевого производства. При этом было решено вовлечь в переработку и отходы обогатительной фабрики («лежалые хвосты»), образовавшиеся после извлечения цирконового концентрата в количестве около 2 млн. тонн.

Результатом работ по обогащению явилось получение концентратов, состав которых приведен в таблице 1.

Рассмотренные технологические схемы переработки полученного ниобиевого продукта базировались на способе хлорирования брикетированной шихты в шахтных хлораторах [8, 9]. При этом просматривалась перспектива разделения ниобия и тантала в процессе хлорирования с цирконием, минеральные формы которого вскрываются при более высоких температурах [10]. Получаемый хлоридный продукт подлежал фракционной перегонке и в последующем, с использованием парового гидролиза, предусматривал получение товарного пентоксида ниобия. Тетрахлорид кремния, выделяемый методом ректификации, планировалось использовать для производства поликристаллического кремния на ХМФ ММК [8, 9].

Однако за прошедшие годы в научной литературе появились сведения о новых перспективных разработках в области хлорной металлургии, которые могут быть весьма эффективны для переработки полиметаллических руд.

#### Процесс хлорирования с использованием газофазного восстановителя

Прогрессивная технология хлорирования разрабатывается сотрудниками ГП «ГНИП Институт титана», где в 2010-2012 гг. выполнен комплекс исследований по дальнейшей разработке технологии производства хлормагниевого расплава из магнезитов методом хлорирования [8–16].

На основании разработанной простой, но достаточно эффективной методики изучения механизма и кинетики гетерогенных процессов, при исследовании процесса хлорирования магнезита, установлена целесообразность замены твердого восстановителя на газообразный – оксид углерода [10, 11]. Был исследо-

Таблица 1 – Химический состав продуктов обогащения руд Мазуровского месторождения

Компонент	Содержание, %		
	Nb-Zr концентрат	цирконовый концентрат	Нефелин-полевошпатовый концентрат
$Na_2O$	7,6	0,99	7,9
Mg	0,47	0,02	0,06
$Al_2O_3$	17,67	1,73	21,54
$SiO_2$	36,14	29,91	63,53
$P_2O_5$	0,32	0,70	сл.
$SO_3$	0,94	0,30	0,025
$K_2O$	3,34	0,32	5,17
Ca	7,15	3,23	0,59
$TiO_2$	2,96	0,08	0,02
$MnO_2$	0,26	сл.	0,016
$Fe_2O_3$	3,90	0,15	0,20
Sr	0,3	сл.	–
$Y_2O_3$	0,063	0,13	–
$ZrO_2$	6,46	60,76	0,031
$Nb_2O_5$	9,63	0,34	0,033
$CeO_2$	0,27	сл.	–
$HfO_2$	0,12	1,18	–
$Ta_2O_5$	0,45	сл.	–
$ThO_2$	0,088	сл.	–
$U_3O_8$	0,264	–	–

ван механизм взаимодействия природного магнезита со смесью хлора и оксида углерода, изучены закономерности массопереноса в реакционной системе, установлена диффузионная природа процесса хлорирования. В отличие от попыток других исследователей [17], авторами расчетным и экспериментальным путем определены условия равностойки газовых реагентов к поверхности хлорируемого магнезита [8], что позволило достичь в процессе хлорирования высокой скорости при полном усвоении хлора (рис. 1).

Разработанная технология опробована на пилотной установке при переработке природного магнезита в хлораторе шахтного типа с внутренним диаметром шахты 0,3 м [12]. На установке был получен расплав хлорида магния (массовая доля  $MgCl_2$  – 97,0–98,8 %), по содержанию основных примесей полностью удовлетворяющий требованиям электролитического передела для всех типов электролизеров, эксплуатируемых в СНГ, и для поточной линии электролизеров.

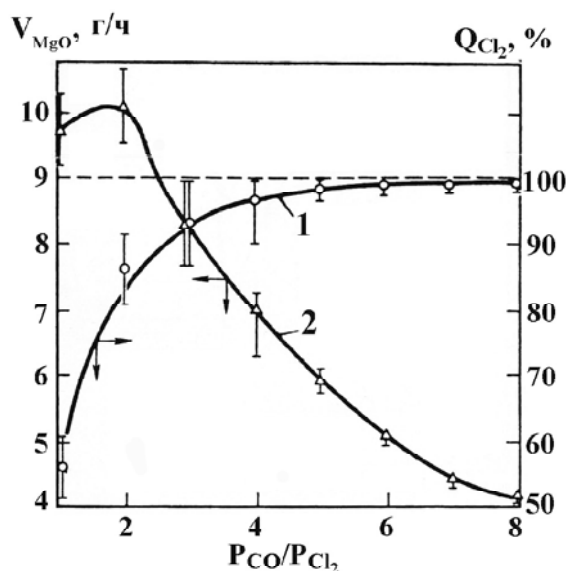


Рис. 1. Зависимость степени использования хлора  $Q_{Cl_2}$  (1) и скорости хлорирования магнезита  $V_{MgO}$  (2) от соотношения парциальных давлений  $Cl_2$  и  $CO$  в реакционных газах

Привлекательность новой технологии хлорирования, базирующейся на газификации восстановителя, в сравнении с технологией хлорирования брикетированной шихты, состоит в следующем:

- существенно сокращается и упрощается аппаратурно-технологическая схема подготовки сырья к процессу хлорирования, устраняются переделы, связанные с измельчением сырья, смешением компонентов, получением брикетов и, тем самым, существенно понижается капиталоемкость технологии;

- повышается скорость процесса хлорирования магнезита и удельная производительность хлоратора не менее чем в 3 раза (до 6,5–7,0 т  $MgCl_2$  / м<sup>2</sup>·сутки);

- в хлоратор не поступает твердый восстановитель,

что позволяет понизить содержание примесей и улучшить качество получаемого хлорида;

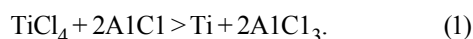
- практически исключаются проскоки хлора в технологическом процессе, сокращается его удельный расход, минимизируются затраты на газоочистку;

- сокращается удельный расход сырья на 10 %, уменьшается удельное энергопотребление на 15–20 %, повышается экономическая эффективность технологии.

Рассмотренная технология может быть применена и к переработке редкометалльных концентратов Мазуровского месторождения, при ее внедрении возможно существенное снижение капитальных затрат, себестоимости получаемых хлоридов и производимых из них продуктов.

### Субхлоридная технология восстановления металлов

В ходе выполнения исследовательских работ в Институте химии и химической технологии СО РАН теоретически на основе термодинамических расчетов и экспериментально установлено, что летучие субхлориды алюминия ( $AlCl_x$ ,  $x < 3$ ) могут выполнять функции восстановителя хлоридов до металла, например тетрахлорида титана, по реакции:



Газофазный вариант субхлоридной металлотермии характеризуется высокой удельной производительностью и простотой организации процесса [18–21], в сравнении с ныне промышленно реализованными технологиями. Использование паров  $AlCl_x$  позволяет устранить конденсацию солевых оболочек на поверхности частиц восстановленного титана. Количество выделяющейся тепловой энергии при этом заметно ниже, чем в магниетермии, и она относительно равномерно распределена по объему реактора.

Затраты электрической энергии на регенерацию и возврат субхлорида алюминия в процесс восстановления  $TiCl_4$  до металла также существенно ниже, чем на возврат магния (7,5 и 15,2 кВт·ч/кг  $Ti$  соответственно).

Другое преимущество  $AlCl_x$  над щелочными и щелочноземельными металлами-восстановителями заключается в его более высокой чистоте. Использование газофазного восстановителя и проведение реакции в газовом потоке даёт возможность полностью исключить контакт реакционной смеси со стенками реактора введением пристеночного защитного слоя инертного газа, что позволяет восстанавливать тетрахлорид титана до металла в газовой фазе без загрязнения восстановленного металла солями и примесями из материала реактора.

В газофазном субхлоридном варианте отсутствуют внутридиффузионные ограничения на транспорт и взаимодействие реагентов, характерные для гетерофазных процессов. В результате удельная производительность реактора субхлоридного восстановления может значительно превысить производительность реакторов, используемых в магниетермии. В потоке реакционных

газов восстановление титана до металла сопровождается его выделением в конденсированную фазу, а это создает возможность получать титан и его сплавы сразу в виде порошка или напылением на подложку. Вариант с зародышем представляет интерес для крупнотоннажного промышленного производства, поскольку запыление потока частицами-зародышами увеличивает площадь конденсации и удельную производительность реактора. Выделение титана возможно при превышении радиуса зародыша ( $r$ ) критического размера ( $r_c$ ). При выполнении  $r > r_c$ , скорость выпадения металла в твердую фазу будет задаваться скоростью диффузии к поверхности макрочастиц химических реагентов.

На рис. 2 представлена возможная схема субхлоридного восстановления в газовом потоке. Предварительно нагретые  $TiCl_4$  и субхлориды алюминия в потоке инертного газа поступают в камеру смешения, где формируется реакционная смесь. В реакционной зоне температура смеси снижается до оптимальной и введением металлических зародышей инициируется протекание восстановительной реакции (1). Поток расширяется для поддержания заданного температурного режима при непрерывном выделении энергии в реакции восстановления. В закалочном устройстве полученные продукты реакции охлаждаются. Далее смесь порошков металла и десублимированных хлоридов алюминия и титана поступает на дистилляцию.

В настоящее время субхлоридный способ восстановления и отдельные стадии технологии отработаны в масштабах лабораторной установки.

Временная динамика прироста массы зародыша ( $M$ ) и скорости осаждения этой массы ( $dM/dt$ ) приведены на рис. 3. Зафиксированная в ходе экспериментов скорость осаждения титана соответствует производительности реактора  $\sim 1 \text{ кг Ti}/(\text{м}^3 \text{ с})$ , что определяет перспективность технологии, ее дальнейшей разработки.

На примере переработки титаномагнетитов с высоким содержанием оксида титана и сопутствующих редких элементов в ИХХТ СО РАН разработаны методы комплексной экологически безопасной технологии переработки поликомпонентных руд, обеспечивающей минимальный уровень отходов и затрат энергоносителей и химических реагентов, получившей название высокоскоростной металлургии.

Это дает возможность минимизировать капитальные и эксплуатационные затраты для организации экономически рентабельного получения целевых рудных компонентов и тем самым расширить сырьевую базу металлургии. При использовании методов высокоскоростной металлургии единственным расходуемым реагентом служит природный газ или уголь. Жидкие стоки отсутствуют. Извлечение металлов можно вести непосредственно на месторождении, что актуально для неосвоенных районов, при этом масса вывозимого с месторождения полученного продукта – в десятки и сотни раз меньше массы перерабатываемой руды, а масса подвозимых технологических грузов, кроме органического топлива, мала.

Предварительная термодинамическая оценка показывает принципиальную возможность восстановления

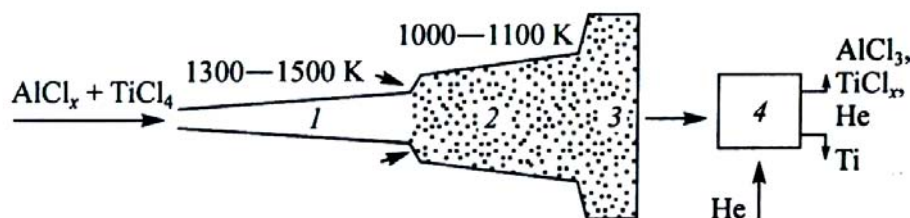


Рис. 2. Схема алюминотермического восстановления  $TiCl_4$  в потоке субхлоридов алюминия:

1 – камера смешения; 2 – реакционная зона, стрелками показан ввод зародышей; 3 – зона закалки; 4 – дистилляция [1]

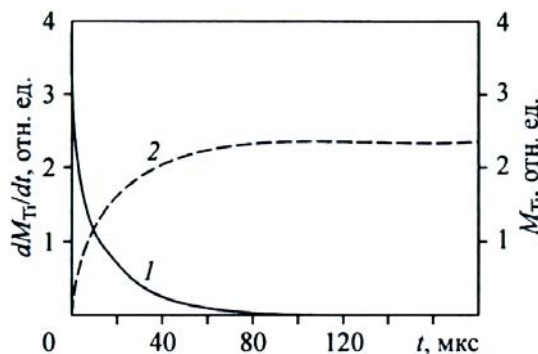


Рис. 3. Кинетика осаждения титана из химически активной среды на зародыш [2]:

$[Ar] = 10$ ;  $[TiCl_4] = 0,5$ ;  $[AlCl] = 1$ ;  $P = 0,1 \text{ МПа}$ ; 1 –  $dM_{Ti}/dt$ , 2 –  $M_{Ti}$

субхлоридами алюминия также хлоридов Zr, Nb, Ta, V, Mo и других компонентов поликомпонентных руд.

Однако реальная оценка возможности извлечения редких металлов из концентратов мазуровского месторождения методами высокоскоростной металлургии и конкретная рекомендуемая технологическая схема их переработки могут быть предложены лишь после теоретической проработки и лабораторного опробования редкометалльного сырья, с учетом минералогической формы основных полезных компонентов и сопутствующих элементов.

В ходе работы термодинамические исследования позволят определить оптимальный состав реагирующих смесей с тем, чтобы с минимальными материальными и энергетическими затратами выделить из поликомпонентной руды целевые компоненты, разделить их между собой и получить из них товарный продукт. А лабораторный эксперимент позволит изучить кинетику указанных выше процессов и уточнить параметры расчетных режимов обработки поликомпонентных руд. При этом необходимо осуществить выбор оптимального режима переработки руды – температуры процесса, массопотоков, схемы разделения галогенидов и пр.

#### Выводы

1. Рассмотренные ранее схемы переработки редкометалльных концентратов Мазуровского месторождения возможно существенно модернизировать на основе использования новых технологий хлорирования и восстановления, повысив экономическую эффективность переработки концентратов.

2. Для проверки эффективности новых технологий при переработке нового вида сырья и определения расходных норм и коэффициентов рекомендуется провести предварительное технологическое опробование концентратов Мазуровского месторождения на основе новых разработанных технологий.

#### Список литературы

1. Мазуровское редкометалльное месторождение в стратегии развития Мариупольского металлургического комбината им. Ильича / [В. С. Бойко, Е. С. Нечепуренко, В. В. Климанчук и др.] // Горн. журн. – 2002. – № 11–12. – С. 33–36.
2. Галецкий Л. С. Комплексное решение проблем железорудной и редкометалльной сырьевой базы как основы техперевооружения металлургического производства ОАО «ММК им. Ильича» / Л. С. Галецкий, Э. Ш. Коган, Н. Н. Черниенко // Металл. – 2005. – № 2. – С. 40–41.
3. Донской А. Н. Нефелиновые породы Украины / А. Н. Донской, Е. А. Кулиш, Н. А. Донской // Комплексные алюминий-глиноземные и редкометалльные руды. – К., 2004. – 222 с.
4. Комплексна металогенічна карта України : Поясн. зап. / [А. С. Войновський, Л. В. Бочай, С. В. Нечаєв та ін.]. – К., 2003. – С. 213–218.
5. Науменко В. В. Эндогенное оруденение и эпохи тектоно-магматической активизации Европы / В. В. Науменко. – К., 1981. – 216 с.
6. Стрекозов С. Н. Перспективы геолого-промышленной переоценки месторождений и рудопроявлений редких металлов и редких земель Приазовья в новых экономических условиях / С. Н. Стрекозов, Н. А. Козарь, В. В. Груба // Сучасні економічні можливості розвитку та реалізації мінерально-сировинної бази України і Росії в умовах глобалізації ринку мінеральної сировини : зб. наук. пр. ІГН НАН України. – К., 2005. – С. 259–261.
7. Черниенко Н. Н. Мазуровское месторождение редкометалльных нефелин-полевошпатовых руд – проблемы и перспективы освоения / Н. Н. Черниенко // Там же. – С. 280–286.
8. Бойко В. С. Мазуровское редкометалльное месторождение в стратегии развития «ММК им. Ильича» / [В. С. Бойко, В. В. Климанчук, С. А. Крамаренко и др.]. // Благородные и редкие металлы. – Донецк : ДонНТУ, ООО «Норд Компьютер», 2003. – С. 233–235.
9. Крамаренко С. А. Переработка пироксенового концентрата методом хлорирования / С. А. Крамаренко // Благородные и редкие металлы. – Донецк : ДонНТУ, ООО «Норд Компьютер», 2003. – С. 254–256.
10. Иващенко В. И. Хлорирование пироксено-цирконового концентрата / В. И. Иващенко // Вопросы химии и химической технологии. Вып. 37. – Харьков : Вища школа, 1975. – С. 30–33.
11. Прутцков Д. В. Закономерности механизма взаимодействия магнезита со смесью хлора и оксида углерода и массоперенос в рассматриваемой системе / Прутцков Д. В., Лупинос С. М., Рябухин Ю. М. // Теория и практика металлургии. – 2010. – № 3–4 (76–77). – С. 110–116.
12. 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.
13. Лупинос С. М. Исследование процессов хлорирования оксидного магнезиевого сырья с использованием твердого восстановителя / Лупинос С. М. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2011. – № 2 (267). – С. 75–79.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. Prutskov D. Intensification of The Process for Magnesite Chlorination in Shaft Furnaces Using a Gaseous Reductant / D. Prutskov, S. Lupinos, A. Petrun'ko // Non-Ferrous Metals-2010. Proceedings of the II International Congress. – Krasnoyarsk, 2010. – P. 164–170.
18. 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.
19. Лупинос С. М. Исследование поведения примесей в процессе хлорирования магнезита / С. М. Лупинос // Металлургия : наукові праці ЗДІА. – Запоріжжя : РВВ ЗДІА, 2013, вип. 29. – С. 29–36.
  20. Kennedy M. Chlorination of Magnesium Carbonate in a Stirred Tank Reactor / M. Kennedy, R. Harris // Canadian Metallurgical Quarterly. – 2000. – Vol. 39. – № 3. – P. 269–280.
  21. Парфенов О. Г. Проблемы современной металлургии титана / О. Г. Парфенов, Г. Л. Пашков // Новосибирск : изд-во СО РАН, 2008. – 279 с.
  22. Парфенов О. Г. Особенности субхлоридной металлургии титана / Парфенов О. Г., Пашков Г. Л. // Известия ВУЗов. Цветная металлургия, 2009. – № 2. – С. 26–31.
  23. Михалев А. Л. Безотходная переработка ильменитовых и титаномагнетитовых концентратов / А. Л. Михалев, О. Г. Парфенов // Химия в интересах устойчивого развития. – 2008. – Т. 16. – № 2. – С. 237–240.
  24. Кухтецкий С. В. Численное моделирование течений реагирующих сред в приближении полного ЛТР / С. В. Кухтецкий, О. Г. Парфенов // Тез. докл. междунар. конф. по химической технологии, Москва, 17–23 июня 2007 г. – М. : ЛЕНАНД, 2007. – Т. 2. – С. 237–239.

Одержано 04.07.2013

**Галецький Л.С., Чернієнко Н.Н., Венцев С.Д., Сидоренко С.А. Нові хлоридні технології та перспективи їх використання для переробки рідкометальних концентратів Мазурівського родовища**

Розглянуто геологічну структуру та мінералогічний склад Мазурівського родовища нефелін-рідкіснометалевих руд і результати робіт, спрямованих на відновлення його розробки. Показано доцільність випробування сучасних технологій хлорування та відновлення для переробки рідкіснометалевих концентратів родовища.

**Ключові слова:** порода, циркон, пірохлор, ніобій, концентрат, технологія, швидкість хлорування, оксид вуглецю, субхлорид, високошвидкісна металургія.

**Galetskiy L., Cherniyenko N., Ventsev S., Sidorenko S. Innovative Chloride Technologies and Their Potential Implementation for Processing of Rare Metal Concentrates from Mazurovka Deposit**

*Consideration has been given to the geological structure and mineralogical composition of elaeolite-rare metal ores from Mazurovskoye deposit, and to the results of works aimed at resuming of the deposit development. The expedience of assaying modern chlorination and reduction technologies for processing of the deposit rare metal concentrates has been shown.*

**Key words:** rock, zircon, chalcocyanite, niobium, concentrate, technology, rate of chlorination, carbon oxide, subchloride, high-rate metallurgy.