

УДК 579.66; 669.053.4

РАЗРАБОТКА ИННОВАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ БИОЭКСТРАКЦИИ МАРГАНЦА ИЗ ФЕРРОСПЛАВНЫХ ШЛАКОВ И ШЛАМОВ С ПОЛУЧЕНИЕМ НОВЫХ ПРОДУКТОВ

Г. В. ДЖАНДИЕРИ, Д. В. САХВАДЗЕ, А. В. РАПАВА, Т. ЯК. ЦИРЕКИДЗЕ

Институт металлургии и материаловедения Фердинанда Тавадзе, г. Тбилиси

Разработана новая технологическая схема гидробиотехнологического выщелачивания марганца из тонкоизмельченных фракций ферросплавных шлаков и шламов, образованных при водно-гравитационной сортировке гидромеханического сепарирования. Предлагаемая нами комбинированная технология отличается своей энергоэкономностью и экологичностью, дает возможность получения таких многофункциональных продуктов, как моногидрат сульфата марганца, высокоминерализованный рассол и кек.

***Ключевые слова:** техногенные металлооксидные отходы, ферросплавные шлаки, ферросиликомарганец, гидромеханическая сепарация, шлам, автотрофные тиобактерии, бактериальное выщелачивание, биоэкстракция.*

Введение. Устойчивое развитие современного мира все больше и больше становится зависимым от создания и внедрения ресурсосберегающих и экологически безопасных технологий. В целях обеспечения безотходного производства в последнее время особое внимание уделяется использованию выделенных традиционными технологиями отходов и тепловой энергии в качестве вторичного сырьевого и энергетического ресурса.

Известно, что аккумулированные в мире отходы по количеству содержания полезных элементов равны ныне разрабатываемым природным ископаемым. Наверное, не случайно ряд государств, среди них и Грузия, в законе «О недрах» вторичным ресурсам присвоили статус «техногенного

сырья», равноценного природным ресурсам и внесли его в Государственный фонд недр, переработка которых без соответствующей лицензии недопустима. В Грузии многие проблемы, связанные с отходами, остаются нерешенными. Основным источником выделения отходов являются металлургические производства и обслуживающие их заводы и фабрики. Примечательно, что в прошлом разумному управлению отходами не уделялось должного внимания как с точки зрения охраны природы, рационального управления энергией и природными ресурсами, так и с экономической.

Проблему в большей мере усугубляет дефицитность экологически безвредных и экономически выгодных технологий промышленного рециклирования и утилизации отходов текущего производства. В результате, складирование отходов происходит в открытых атмосферных условиях.

Твердые производственные отходы, складированные в открытых атмосферных условиях, занимают второе место среди производственно-экологических проблем. Они лишь уступают проблемам, созданным выхлопными угарными газами. Твердые отходы под воздействием атмосферных осадков загрязняют и делают неплодотворными почвы, прилегающие к объектам производства, отравляют сточные воды, реки, моря, а также наносят неисправимый вред грунтовым водам.

Логично, что в современном мире на фоне повышенных требований к экологической безопасности, приоритетным становится развитие таких технологий, как биотехнологическая переработка отходов, целью которой является обезвреживание и экстракция экологически вредных, но экономически выгодных элементов.

Исходя из отмеченного, можно сказать, что избежать загрязнения окружающей среды отходами и вторичными продуктами станет доступным только в случае развития и внедрения инновационных технологий биоэкстракции металлов. Перспективность технологии биоэкстракции металлов обусловлена ее масштабностью (т.е. возможностью переработки отходов в больших количествах), высоким уровнем механизации и протеканием в

„мягких условиях“ по сравнению с химическими процессами, что подразумевает условия нормального давления, температуры и кислотности среды.

Постановка задачи. Предметом исследования данной работы является разработка нового биотехнологического способа переработки металлосодержащих оксидных отходов ферросплавного производства. Для исследования взяты промышленные условия такого особо востребованного в мире марганцевого ферросплава, как ферросиликомарганец марки FeMnSi 18 (Mn 65–75 %; Si 15–20 %). Мировое производство этого ферросплава в среднем составляет 8–9 млн.т. в год, а выход отходов в виде шлака, шлама и пыли с общим содержанием марганца от 17 до 25 % достигает 15–20 млн.т/г. Основная доля потерь марганца приходится на металлооксидные шлаки, кратность которых в некоторых случаях могут достигать показателя 2–2.5. Кроме оксидного марганца, со шлаком теряется и готовый сплав в виде металлических корольков. С целью уменьшения потерь готовой продукции шлаки подвергаются сепарационной переработке. В последнее десятилетие интенсивно развивается технология водно-гравитационной, гидромеханической сепарации шлаков [1–4]. После сепарации и извлечения металлических включений, шлак в виде окиси марганца содержит около 12–13 % марганца, что приводит к существенным потерям производства [5]. Эффект сепарационной обработки с изменением химического и гранулометрического состава ферросиликомарганцевого шлака в условиях «Ecometal» LLC при Зестафонском заводе ферросплавов (Грузия) приведены в табл. 1.

Таблица 1

Изменение химического и гранулометрического состава шлака ферросиликомарганца при гидросепарации

Этапы сепарации	Среднее содержание металлов, %						Размер фракции, мм
	Mn ⁺⁺	Si ⁺⁺	Al ⁺⁺⁺	Cu ⁺⁺	Fe ⁺⁺⁺	Mg ⁺⁺	
I	27.3	20	1.3	2	2	1.0	20–40
II	26.6	21	1.4	4	3	1.3	5–20
III	25.2	23	1.5	6	4	1.5	0–5
Шламоотстойник	13.3	25	2.6	8	5	1.8	0–0.16

Технологическая схема гидромеханической сепарации шлаков электрометаллургического производства ферросиликомарганца иллюстрирована на рис.1. Сравнительным анализом существующих данных о показателях извлечения марганца и его безвозвратной потери со шлаком и шламом после сепарации, можно предположить, что в мире, в среднем, только со шлаками ферросиликомарганца ежегодно может теряться 2–2,5 млн.т. марганца, что бесспорно повышает актуальность проблемы и остро ставит задачу о необходимости разработки новых энерго-ресурсосберегающих технологий извлечения марганца из этих металлооксидных отходов.

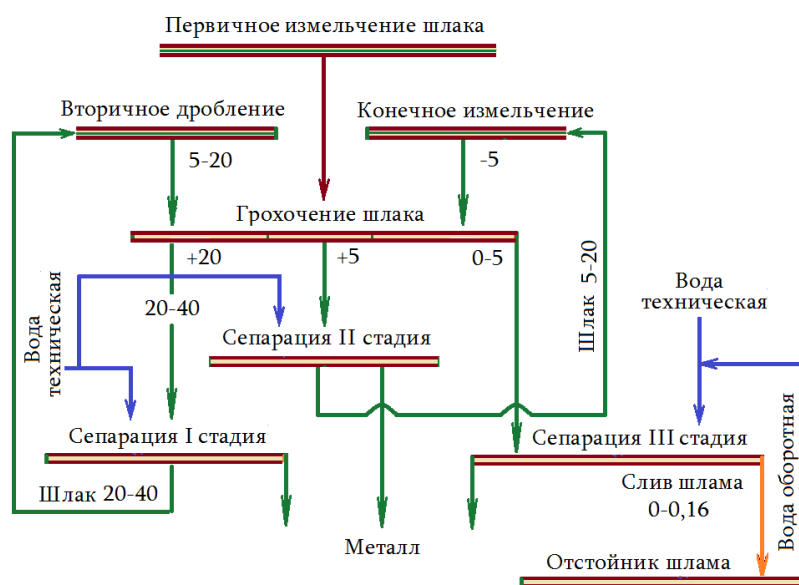


Рис. 1. Технологическая схема гидросепарации шлаков электрометаллургического производства ферросиликомарганца

Из существующих возможностей извлечения марганца из металлооксидных отходов, своей эффективностью выделяются гидрометаллургические технологии экстракции, в частности – выщелачивание и электрохимическое восстановление металлов [6]. Известно, что своей эффективностью и качеством получаемых продуктов выделяется технология электрохимического восстановления металлов из электролитных растворов металлических солевых соединений [7]. Но надо отметить такую негативную сторону как высокоэнергопотребляемость и низкая экологическая

безопасность, что является основным сдерживающим фактором широкого распространения этой технологии. Расход материалов и электроэнергии на 1 базовую тонну извлеченного из первосортной руды металлического марганца составляет: руда – 4500 кг, серная кислота – 1350 кг, сульфат аммония – 2000 кг, аммиачная вода – 500 л, потребление электроэнергии – 12000 квт.ч. При этом, показатель извлечения марганца достигает лишь 45 %. Улучшением этой технологии является сравнительно новое направление – импульсный электролиз [8]. Этой технологией достигается существенное снижение энергопотребляемости, но сам процесс и необходимая для него аппаратура усложняется и удорожается. Эффективность технологического процесса становится зависимой от эффективности работы микропроцессорной и компьютерной техники, управляющих программ контроля и регулирования технологических режимов. Из-за стохастичности процесса определение и практическое обеспечение рациональных режимов электролиза в динамике процесса до сих пор остается очень сложной и трудно решаемой задачей. Можно отметить, что эти объективные и субъективные факторы так удорожают технологический процесс электролиза, что его использование для материалов с низким содержанием ($\leq 20\%$) полезных элементов, в том числе и для отходов, становится нерентабельным.

Известно, что наиболее приемлемым путем переработки и извлечения металлов из бедных руд, отходов обогащения и шлаков, является технология химического выщелачивания, продуктом которого являются гидратные соли(кристаллогидраты) извлекаемых металлических элементов [9–11]. Из-за существенного повышения риска загрязнения окружающей среды и нанесения вреда рабочему персоналу, что вызвано применением разных агрессивных кислот, широкое распространение этой технологии лимитируется. Альтернативой указанной технологии рассматривается гидрометаллургическое направление биоготехнологической экстракции металлов, что включает в себя выщелачивание металлов с помощью применения специальных бактериальных штаммов [12, 13]. С точки зрения экологической безопасности

биогеотехнология металлов не имеет конкурентов и является безальтернативным направлением как по утилизации, так и по целевому рециклированию производственных металлооксидных, карбонатных и сульфидных отходов. Примечательно, что проведенные нами исследования в этом направлении дали положительные результаты в решении задач бактериальной переработки и утилизации мелкофракционных марганецсодержащих отходов ферросплавного производства [14–17]. Нужно отметить, что настоящая работа представляет собой продолжение цикла начатых нами исследований по биовыщелачиванию марганца безвредной биотехнологической переработкой шлаковых отходов в комплексе с технологическим процессом их гидросепарации.

Решение поставленной задачи. Системный анализ возможных путей решения поставленной задачи показывает, что рациональным путем представляется комбинирование биовыщелачивающих гидротехнологических процессов с гидродинамическими процессами дробления, грохочения и фракционно-гравитационной сортировки при сепарации шлаков и осаждении шламов в шламоотстойниках.

Схематическое изображение предложенной нами интегрированной технологии гидросепарации марганецсодержащих шлаков ферросплавного производства с сопутствующим биовыщелачиванием представлено на рис. 2.

В отличие от традиционной схемы гидросепарации (рис. 1), в предложенном варианте, в технологическом цикле дополнительно включён участок подачи бактериальной суспензии для биовыщелачивания марганца, соответственно модернизирована система циркуляции применяемого взамен технической воды данного биологически активного раствора. Для максимально эффективного использования суспензии бактериальной культуры и перевода марганца из нерастворимой в воде оксидной фазы в растворимую – сульфидную, раствор первой стадии сепарации с бактериальной взвесью переходит на второй, со второго на третий, который в конце попадает в шламоотстойник, от которого опять подается в систему сепарации.

Отработанный раствор сравнительно долго находится в отстойнике шлама, где он особо эффективно реагирует с нулевыми фракциями шлама. После осаждения и складирования шлама в открытых условиях этот же раствор можно использовать для кучного выщелачивания.

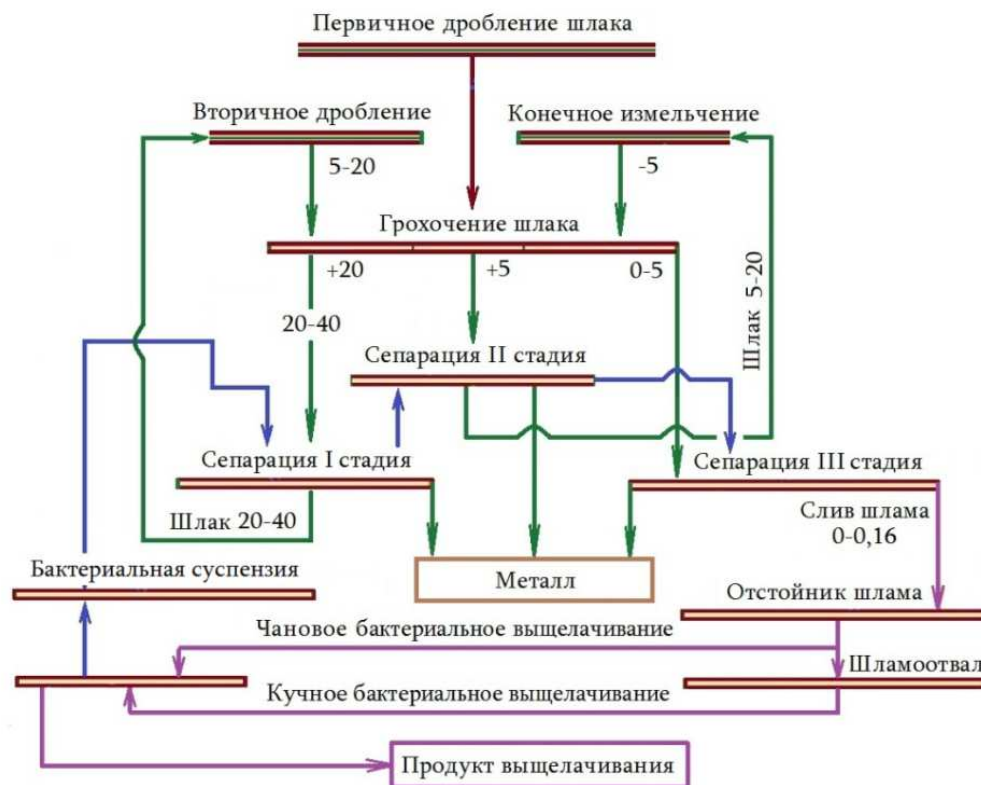


Рис. 2. Технологическая схема биоэкстракции марганца из ферросплавных производственных шлаков и шламов

Лабораторные эксперименты с использованием автотрофно-тионовых бактерий *Thiobacillus ferrooxidans* в концентрации 10^8 – 10^9 кл/мл показали, что для достижения наиболее высокого показателя экстракции марганца (90 ± 5 %), целесообразным является регулирование кислотно-щелочного баланса раствора, оптимальное значение которого в данном случае составляет рН – 2.4. При этом, соотношение Т/Ж (количество шлама/бактериальная суспензия) находятся в пределах 1:45–1:55. При благоприятных условиях среды (температура 28–29 °С, сульфидная питательная среда – сульфидный минерал FeS_2 – отход пиритного концентрата Казретского медьдобывающего комбината “RMG Copper”) один цикл бактериального выщелачивания, который длился в

течении 10–12 суток, давал концентрацию марганца в жидкости 25–26 г/л. При выдержке раствора до 30 суток и достижения максимально предельной концентрации марганца (по нашим данным – 49–50 г/л) раствор должен быть изъят из системы и расположен на участок для кристаллизации полученного продукта – сульфата марганца. Необходимо отметить, что в отличие от высокопроизводительной технологии гидросепарации шлаков (10–15 т/ч), процесс бактериального выщелачивания протекает очень медленно. Соответственно основную нагрузку бактериального выщелачивания принимает на себя этап шламообразования и оседания в шламонакопительных отстойниках. Так как процесс шламооседания занимает несколько суток, создавшиеся при этом условия можно считать благоприятными для выщелачивания. В любом случае становится необходимым снаряжение дополнительных параллельных выщелачивающих чанов и шламоотстойников. А это приводит к увеличению общего объема применяемой жидкости. Эта особенность разрабатываемой технологии не является преградой как с точки зрения технической сложности, так и себестоимости. Единственной преградой в частных случаях конкретного производства может стать только нехватка производственной площади, что в конечном счете не должно являться нерешаемой проблемой.

Выщелачивающие автотрофные тиобактерии *T. ferroxidans* выделялись из Чиатурских марганцеворудных сточных вод (Грузия). Эти бактерии хорошо приспособлены к марганцевым соединениям и для своего питания используют элементы сопутствующих неорганических соединений, в основном ионы железа и серы. После адаптации к основному продукту выщелачивания (сульфат марганца – $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (Mn – 31 %)) и размножения микроорганизмов создается устойчивый производственный штамм. В отличие от традиционных химических (кислотных) способов производства сульфата марганца из марганцевых руд при биотехнологической переработке шлаков попутно с основным продуктом – MnSO_4 , можно получить экологически безопасный высокоминерализованный рассол в виде кека, с содержанием минералов

$\text{Ca}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7$, CaMgSiO_4 , $\text{K}_2\text{Na}_2\text{O}$, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{FeO}$, выборочное применение которых целесообразно для удобрения бедных, глинистых и эродированных почв [18–20]. Остатки после биоэкстракции успешно могут быть использованы в качестве десульфуризирующих флюсовых добавок при производстве чугуна, в производстве цементного клинкера и других строительных материалов [21].

Практическая значимость. Оценка практической значимости решения поставленной задачи даже в частных масштабах Грузии носит глобальный характер. Известно, что Грузия входит в мировую десятку производителей марганцевых концентратов и ферросплавов, производя 350–400 тыс. т марганцевого концентрата и 200–250 тыс. т ферросплава в год. Этот фактор обуславливает бесспорную актуальность поставленной задачи, решение которой положительно отразится как на технико-экономических показателях производства, так и на экологической безопасности окружающей среды. Показатель сквозного извлечения марганца для ферросплавного производства с 80 % может возрасти до 90–95 %. Конечным продуктом по разрабатываемой технологии станет химически чистый (98–99 %) сернокислый марганец (ТУ 6-47-53028-10-93; CAS 7785-87-7), который можно применять как в производстве металлического электролитического марганца и диоксида марганца [22, 23], так и в премиксах, в микроудобрениях, в лекарственных препаратах и т.д. [24–26]. Анализ объемов мирового производства электролитического диоксида марганца и металлического марганца показывает, что общее потребление MnSO_4 в среднем составляет 5 млн. т. в год. Цены на тонну продукции технической чистоты (98 %) колеблются в пределах 400–500 \$, а для химически чистого (99 %) продукта по данным компании “Sigma-Aldrich” составляет около 60 \$ за килограмм, что в пересчете на тонну равняется 60 000 \$.

На сегодняшний день основными производителями продукта – MnSO_4 являются Китай и Украина, которые применяют классическую технологию химического выщелачивания, где в качестве основного сырья применяют марганцевые руды, а выщелачивающим раствором является серная кислота, что

удорожает продукт и оказывает вредное экологическое воздействие на окружающую среду.

Разрабатываемая нами технология отличается от других технологических процессов тем, что процесс микробиологического выщелачивания марганца адаптирован и интегрирован непосредственно для технологической линии гидросепарации шлаков на стадии образования гидрогравитационного классифицирования и оседания шламовых фракций. Это упрощает и удешевляет процесс биоэкстракции марганца.

ВЫВОДЫ

▪ С помощью предложенной инновационной технологии появляется новая возможность переработки и обезвреживания овальных шлаков ферросплавного производства.

▪ Процесс биоэкстракции марганца из шлаков и шламов с получением новых продуктов – сульфата марганца и высокоминерализованного кека, можно рассмотреть, как появление добавочной, вторичной сырьевой базы в производстве этих продуктов, что приведет к снижению расходов на получение основного сырья.

▪ Существенно снижается потребление экологически вредных веществ (кислот), этим снижается вредное воздействие на окружающую среду.

▪ Из-за мягких производственных условий повышается срок службы основных гидротехнических и выщелачивающих установок, снижается энергопотребление (процесс не нуждается в нагреве выщелачивающего раствора, процесс протекает в естественных природных условиях).

▪ Себестоимость биоэкстракции марганца согласно предложенной схеме, в сравнении с традиционным кислотным способом, из руд и концентратов в среднем снижается на 20–25 %.

▪ Предлагаемая гидробиотехнология легко адаптируема практически с любым технологическим процессом флотационного обогащения руд,

гидросепарационной сортировки, выщелачивания или обезвреживания марганецсодержащих порошковых и пылевидных отходов.

▪ В отличие от оксидного или карбонатного марганца в рудной части полезного ископаемого, цена которого на международных рынках в зависимости от ее содержания меняется в пределах 3–7 \$ США за 1 % (процент содержания в тонне), реализационная цена полученного предложенным путем марганца может составить 15–20 \$/%.

▪ Освоение технологии не связано с особыми техническими сложностями и не требует существенного перевооружения и крупных капиталовложений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yang David C. Separation of Metals from a Slag Using a Multi-cell Jig /Yang David C., ReenanRicus Van, BhimsanVimal // Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering. – 2003. – Vol. 2, No.2. – P. 137–144.

2. Silica-manganese Alloy Recovering Processing Line [Электронный ресурс] / GongyiForui Machinery Factory. – Режим доступа: http://www.frjig.com/news/silica-manganese_slag_processing.html

3. FerroalloySlagrecycling [Электронный ресурс] / HarscoMetals&Minerals. – Режим доступа: <http://harsco-m.com/249/Ferroalloy-Slag-Recycling.aspx>

4. Rao Ramachandra S. R. Resource Recovery and Recycling from Metallurgical Wastes / Rao Ramachandra S. R. // Waste management. – Amsterdam, The Netherlands: Elsevier, 2006. – 560 p.

5. Джандиери Г. В. Современное состояние и перспективы производства марганцевых ферросплавов в Грузии / Джандиери Г. В., Сахвадзе Д. В., Тавадзе Г. Ф. // Metallургическая и горнорудная промышленность. – 2011. – №3. – С. 37–40.

6. Вольдман Г. М. Основы экстракционных и ионнообменных процессов гидрометаллургии / Г. М. Вольдман – М.: Metallургия, 1982. – 376 с.

7. Баймаков Ю. В. Электролиз в гидрометаллургии / Ю. В. Баймаков, А. И. Журин – М.: Metallurgizdat, 1963. – 616 с.

8. Костин Н. А. Импульсный электролиз / Костин Н. А., Кублановский В. С., Заблудовский В. А. – К.: Наукова думка, 1989. – 168 с.

9. Патент 2057195РФ. МКИ С22В47, С22В3. Способ извлечения марганца из отходов производства марганцевых ферросплавов / Толстогузов Н. В., Нохрина О. И., Рожихина И. Д., Гуменный В. Ф.; заявитель и патентообладатель: Сибирская государственная горно-металлургическая академия. – 93011890/02; заявл. 05.03.1993; опубл. 27.03.1996

10. Патент 2490465РФ. МКИ Е21С41/26, С22В3/04. Способ добычи металлов из хранилищ лежалых отходов обогащения полиметаллических руд / Рыльникова М. В., Абдрахманов И. А., Радченко Д. Н., Матюшенко Г. А.; заявитель и патентообладатель: Открытое акционерное общество «Учалинский горно-обогатительный комбинат»; опубл. 20.08.2013

11. Патент 2515735 РФ. МКИ С22В3/06, С22В59/00, С22В47/00, С22В7/04. Способ извлечения металлов из силикатных шлаков / Гаврилов П. М., Ревенко Ю. А., Бондин В. В., Ефремов И. Г.; заявитель и патентообладатель: Федеральное государственное унитарное предприятие «Горно-химический комбинат». – заявл. 29.01.2013 опубл.: 20.05.2014., Бюл. № 14

12. Биогeотeхнология металлов: практическое руководство / [Каравайко Г. М., Росси Дж., Агате А. и др.] – М.: Центр международных проектов ГКНТ, 1989. – 375 с.

13. Komar Kawatra S. Mineral Biotechnology: Microbial Aspects of Mineral Beneficiation, Metal Extraction, and Environmental Control / S. Komar Kawatra, K. A. Natarajan – Littleton, Colorado, USA: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration Inc. (SME), 2001. – 263 p.

14. Бактериальное выщелачивание марганца из техногенных отходов горно-металлургической промышленности Грузии / [Сахвадзе Д. В., Сахвадзе Л. И., Джандиери Г. В. И др.] // Труды института микробиологии АН Азербайджана. – 2009. – Т. VII. – С. 299–303.

15. Hydrobiometallurgical Method for Commercial Utilization of the Manganese-containing Waste / [Sakhvadze L., Sakhvadze D., Jandieri G. et al.] // The Jubilee Conference on Applied Chemistry. Dedicated to the 100 Anniversary of Academician Rafael Agladze. Georgian Technical University. – Tbilisi, 2011. – P. 108–109.

16. Technologies Of Rendering Harmless And Regenerating Solid And Liquid Inorganic Industrial Wastes / [Jandieri G., Jishkariani G., Sakhvadze D., Tavadze G.] // The Jubilee Conference on Modern Technologies and Methods of Inorganic Materials Science. Dedicated to the 100 Anniversary of Acad. Ferdinand Tavadze. Institute of Metallurgy and Materials Science. – Tbilisi, 2012. – P. 303–318.

17. Working out Environmentally Friendly Biotechnology for Recycling Technogenic Wastes and Non-Conditioned Resources Composed of Manganese / [Raphava A., Jandieri G., Sakhvadze D., Belashi G.] // Georgia chemical journal. – 2013. – Vol.13, N 2. – P. 127–132.

18. de Mello Prado R. Filter Cake and Vinasse as Fertilizers Contributing to Conservation Agriculture / de Mello Prado R., Caione G., Naudi Silva Campos C. // Applied and Environmental Soil Science. – 2013. – Access mode: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/581984>

19. Емельянова В. Н. Влияние цинковых и борных удобрений на урожайность и питательность зерна кукурузы / Емельянова В. Н., Парфинович В. А., Рацкевич Т. И. // Сельское хозяйство – проблемы и перспективы / Т. 16: Агрономия. – Гродно: ГГАУ, 2012. – С. 68–77.

20. Болондзь А. В. Эффективность некорневых подкормок микроудобрениями на посадках картофеля / А. В. Болондзь // Современные технологии сельскохозяйственного производства. Агрономия. Ветеринария. Зоотехния. – Гродно: ГГАУ, 2013. – С. 25–26.

21. Гендлина Е. С. Переработка и использование шлаков и других отходов черной металлургии / Е. С. Гендлина. – М.: Научно-информационный центр "Глобус", 2004. – 153 с.

22. Patent 2013/0330268 A1 USA. IPC:C25B1/21, H01M10/0525. Electrolytic manganese dioxide and method for producing same, and method for producing lithium-manganese complex oxide / Suetsugu K., Miura H.; Applicant: Tosoh Corporation. – EP20120747635; Publication date: 12.12.2013

23. International Patent WO2005/115593 A1. IPC: C25F7/00, B01D53/73, C25C1/10. Method of obtaining electrolytic manganese from ferroalloy production waste / Recio S., Carlos J., Martinez Jose S.; US 10/580,855; Publication date: 08.12.2005

24. Патент 2138467 РФ. МКИ C05D9/02. Микроудобрение / Толмачева Н. А., Тортунов И. Н., Итинский В. В.; заявитель и патентообладатель: Закрытое акционерное общество «Сельхозэкосервис». – 98118122/12; заявл. 05.10.1998; опубл. 27.09.1999

25. Патент 2184549 РФ. МКИА61K33/00. Минеральный препарат для коров / Мамаев Н. Х., Джамалудинова И. Н., Ханбабаева З. М.; заявитель и патентообладатель: Прикаспийский зональный научно-исследовательский ветеринарный институт. – 2000109208/13; заявл. 12.04.2000; опубл. 10.07.2002

26. Патент 2471364 РФ. МКИА23K1/175. Способ кормления телят 1-6-месячного возраста, предусматривающий введение в рацион минерального премикса / Алиев А. А., Джамбулатов З. М.; заявитель и патентообладатель: Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Дагестанская государственная сельскохозяйственная академия. – заявл. 27.04.2011; опубл. 10.01.2013

**РОЗРОБКА ІННОВАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ БІОЕКСТРАКЦІЇ МАРГАНЦЮ
ІЗ ФЕРОСПЛАВНИХ ШЛАКІВ І ШЛАМІВ З ОТРИМАННЯМ НОВИХ
ПРОДУКТІВ**

Г. В. ДЖАНДІЕРІ, Д. В. САХВАДЗЕ, А. В. РАПАВА, Т. Як. ЦИРЕКИДЗЕ
Інститут металургії та матеріалознавства Фердинанда Тавадзе, м. Тбілісі

Розроблено нову технологічну схему гідробіотехнологічного вилуговування марганцю з тонкоподрібнених фракцій феросплавних шлаків і шламів, утворених при водно-гравітаційному сортуванні гідромеханічного сепарування. Пропонована нами комбінована технологія відрізняється своєю енергоекономічністю і екологічністю, дає можливість отримання таких багатофункціональних продуктів, як моногідрат сульфату марганцю, високомінералізований розсіл і кек.

Ключові слова: *техногенні металооксидні відходи, феросплавні шлаки, феросилікомарганець, гідромеханічна сепарація, шлам, автотрофні тіобактерії, бактеріальне вилуговування, біоекстракція.*

**DEVELOPMENT OF INNOVATIVE TECHNOLOGY OF MANGANESE BIO-
EXTRACTION FROM FERROALLOYS PRODUCTION SLAGS AND SLIMES
WITH OBTAINING OF NEW PRODUCTS**

GigoJandieri, David Sakhvadze, AzaRaphava, Teimuras Tsirekidze
LEPL - Ferdinand Tavadze institute of metallurgy and materials science, Tbilisi

A new technological scheme of hydrobiotechnological leaching of manganese from fine fractions of ferroalloy slags and sludge formed during hydrogravitational sorting of hydromechanical separation has been developed. We offer a combined technology that stands out by its energy savings and environmental friendliness, and

gives an opportunity to produce valuable products, such as monohydrate manganese sulfate and highly mineralized brine in the form of condensed filter cake.

Keywords: *industrial metal oxides waste, ferroalloy slag, ferrosilicomanganese, hydromechanical separation, sludge, autotrophic thiobacteria, bacterial leaching, bioextraction.*