



Т.В. Башлыкова
НИТУ «МИСиС»
руководитель проектов
ООО «НВП Центр-ЭСТАГео»¹
Директор
gala@estageo.ru

Ключевая роль новых технологий в полномасштабном освоении российских месторождений марганца

1000 μm

1000 μm

¹Россия, 119049, Москва, Ленинский проспект, 6, стр. 1.

Рассмотрены причины отсутствия в России производств марганецсодержащей продукции с использованием отечественной ресурсной базы и собственных технологий. Предложен комплекс технологических решений для вовлечения труднообогатимых марганцевых руд и техногенных отходов в полномасштабную переработку. Показана ключевая роль биотехнологии в создании рентабельных технологических схем извлечения марганца

Ключевые слова: минерально-сырьевая база марганца России; новые технологии извлечения марганца; новые критерии выбора первоочередных объектов

Практически вся потребность российской экономики в марганецсодержащей продукции обеспечивается за счет импорта. В страну ежегодно ввозится около миллиона тонн товарных руд и концентратов для производства марганцевых ферросплавов, десятки тысяч тонн металлического марганца и оксидов марганца, сотни тонн диоксида марганца и других его химических соединений (сульфидов, сульфатов, карбонатов, перманганатов, фосфатов, нитратов, нитридов).

В стране, где ежегодно выплавляется более 70 млн т стали, быстрорастущими темпами развиваются сельское хозяйство и строительство, отсутствуют современные горно-обогатительные комбинаты по переработке марганцевых руд, предприятия по производству премиксов, керамического кирпича и плитки, герметиков для стеклопакетов с использованием отечественного марганца.

Согласно «Стратегии развития черной металлургии России на 2014–2020 гг. и на перспективу до 2030 г.» (утверждена приказом Минпромторга России от 05.05.2014 № 839), основной причиной столь безрадостной картины является отсутствие в России минерально-сырьевой базы марганца, пригодной для вовлечения ее в промышленную разработку в современных рыночных экономических условиях. Кроме этого отмечено отсутствие экономической технологии обогащения и подготовки руд к металлургическому переделу [1].

Рассмотрим более подробно существующее положение по этим двум факторам.

Минерально-сырьевая база марганца РФ

По оцененным запасам марганца Россия входит в первую десятку стран мира. Кроме того, в стране имеются техногенные источники марганца, приуроченные к отходам ферросплавных производств и хвостам обогащения марганецсодержащих руд.

Руды характеризуются низким качеством – среднее содержание марганца в них 20%, тогда как товарные руды основных зарубежных стран-производителей соответствуют металлургическим сортам с содержанием марганца 45–50%. Руды отечественных месторождений не могут напрямую использоваться в металлургии и требуют обогащения.

Марганцевые руды РФ не являются благоприятным объектом для обогащения из-за высокой степени упорности к селективному раскрытию, сепарационным процессам и процессам выщелачивания, обусловленной следующими факторами:

- весьма неравномерным характером выделения минералов марганца по крупности, плотности, состоянию поверхности;
- наличием кристаллических и сажистых фаз минералов марганца;
- неоднородной степенью окисления, наличием минералов марганца II, III, IV и VII валентности;
- комплексностью руд, в которых ценными компонентами могут также являться железо, медь, никель, кобальт, благородные металлы;
- присутствием вредных для металлургии примесей (серы, фосфора, кремнезема, железа, цветных металлов).

Большинство российских месторождений марганца расположено в труднодоступных районах со слабо развитой транспортной и энергетической инфраструктурой или с отсутствием ее вообще.

По запасам основная часть месторождений марганца РФ отнесена к категории мелких, а рентабельная переработка низкокачественных комплексных руд требует сложных, многооперационных (до 40–50 операций) технологических схем и высокопроизводительных производств.

В «Стратегии развития черной металлургии России на 2014–2020 гг. и на перспективу до 2030 г.» ставится задача сокращения импорта товарной марганцевой руды для ферросплавного производства в 2 раза и констатируется, что для создания в РФ минерально-сырьевой базы марганца необходимы значительные капитальные вложения в ее освоение и применение принципиально новых высокоэффективных рентабельных схем обогащения [1].

Известные технологии переработки марганцевых руд

Технологии обогащения марганцевых руд реализуются как в крупнокусковых, так и глубоких циклах их переработки. Для крупнокускового обогащения используются методы рентгенометрической, фотометрической, рентгенолюминесцентной сепарации.

К методам глубокого обогащения, применяемым для получения марганцевых концентратов, относятся гравитация, магнитная сепарация, флотация, обогащение в тяжелых суспензиях. Для извлечения марганца широко используются гидрометаллургические технологии сернокислотного выщелачивания. Пирометаллургические способы эффективно могут быть реализованы только при переработке высококачественного сырья.

Государственным балансом запасов полезных ископаемых РФ учитывается 29 месторождений марганцевых руд, из которых в распреде-

ленном фонде числятся 12 [2]. Это означает, что руды 29 месторождений изучены технологически, а руды 12 из них были привлекательны для инвесторов на момент приобретения лицензии на право пользования участком недр.

Поскольку Китай является мировым лидером по производству металлического марганца, товарных марганцевых руд и концентратов, а его марганцеворудная база по качеству близка к российской, следует более внимательно рассмотреть китайские технологии извлечения марганца.

Китайские технологи идут по пути выщелачивания тонкоизмельченной исходной руды с использованием высоких концентраций серной кислоты, температуры 80 °С, реагентов-восстановителей, многостадиального (многооразового) укреплению растворов и электролиза. Исключительная экологическая небезопасность технологии предопределяет срок работы персонала на таких предприятиях не более 3 лет. Затратное тонкое измельчение всей массы низкокачественной руды; коллективный перевод в раствор попутных ценных и, что особо важно, вредных компонентов, обуславливающий необходимость применения развитых многооперационных схем для их разделения; образование кремниевой кислоты в растворах выщелачивания, затрудняющей процессы сгущения и фильтрации; образование гипса, препятствующего многоцелевому использованию отходов переработки; необходимость применения реагентов-восстановителей в условиях горячей пульпы и высокой концентрации серной кислоты – все перечисленные факторы указывают на неприемлемость для России китайской технологии. Тем более, когда в условиях санкционных ограничений закономерно необходима опора на собственные ресурсы и собственные технологии. Другими словами, для создания отечественного сектора экономики требуется технологический прорыв, заключающийся в возможности рентабельной отработки мелких по запасам минерально-сырьевых объектов; в уходе от громоздких схем обогащения; переработке малозатратным способом марганцевых руд любого качества, любого состава (включая сульфидные и силикатные), любой степени окисления марганцевых минералов; получении высоколиквидной продукции многоцелевого назначения, в том числе обладающей новыми технологическими свойствами; оптимизации перечня критериев для выбора первоочередных объектов для освоения. Для реализации такого прорыва необходим комплекс рациональных технологических решений, базирующийся на универсальной, доступной, ресурсосберегающей, устойчивой к изменениям

вещественного состава перерабатываемых руд, реализуемой в модульном варианте и пригодной для моделирования при масштабировании; реализуемой в районах с низкой степенью обеспеченности транспортной и энергетической инфраструктурой, водными, земельными и трудовыми ресурсами, экологически безопасной технологии селективного извлечения марганца и попутных компонентов.

Такой технологией может стать кучное биовыщелачивание, с помощью которого из крупнокусковой руды, исключая все операции измельчения и механического обогащения, при обеспечении наилучших условий для переработки можно последовательно извлечь марганец и другие попутные компоненты в раствор и получить на первой стадии ВМК (высококачественный марганцевый концентрат), а из него при расширении производства – любую другую высоколиквидную продукцию, включая металлический марганец. Универсальная технология позволит оптимизировать перечень критериев для выбора первоочередных объектов.

Технология биовыщелачивания давно реализуется в мировой практике для извлечения меди, никеля, кобальта, урана и вскрытия упорных золотосодержащих руд и концентратов. Остается решить вопрос, готовы ли российские технологи и горная отрасль к ее широкому внедрению?

Имеющийся научно-практический задел

За последние 10 лет российская горная наука динамично развивает биотехнологии кучного выщелачивания упорных труднообогатимых руд.

Под научно-методическим руководством Научно-внедренческого Центра экспертных систем технологического аудита недропользования две промышленные компании наработали практики извлечения благородных и цветных металлов с использованием биотехнологий (ООО «Башкирская золотодобывающая компания» и ПАО «Селигдар») в круглогодичных условиях с высоким диапазоном колебания температур.

Специально для горнодобывающей и горноперерабатывающей промышленности создана система автоматизированного минералогического анализа *TIMA-X (TESCAN Integrated Mineral Analyzer)*, которая является более современным продуктом аналогичных систем *QEMSCAN* и *MLA (FEI Company)*. Преимущество *TIMA-X* – в исключительном быстродействии выявления границ и классификации зерен минеральных фаз на основе спектральных и яркостных характеристик в комплексе.

С помощью *TIMA-X* эффективно распознаются гематит и магнетит, а также сложнейшие

для диагностики марганцевые минералы разной структуры и валентности.

В составе метода масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой для достоверного определения элементов-примесей в марганцевых минералах может быть использован метод лазерной абляции (ЛА) вещества. Таким образом, развитие методов технологической минералогии позволяет повысить степень достоверности и полноты изучения марганцевых руд.

В Музее живых культур НИТУ «МИСиС» в активном состоянии поддерживаются бактериальные комплексы, выделенные из руд 22 российских месторождений марганца, способные выщелачивать марганец, никель, кобальт, медь, железо, цинк в условиях чанового, кучного и подземного выщелачивания. Разработаны требования к предпроектным изысканиям для установок кучного и подземного выщелачивания марганца, ведутся исследования по определению скорости восстановления III, IV и VII-валентного марганца в естественных условиях и при интенсификации процесса. Подана заявка на получение патента на изобретение.

Новая технология позволит сократить перечень критериев для выбора объектов первоочередного освоения, существенно снизить уровень требований к количеству запасов марганца, степени геологической изученности, качеству руд, степени обеспеченности транспортной и энергетической инфраструктурой, трудовыми ресурсами. Появляется новый критерий – наличие групп сближенных месторождений, являющийся также экономикаобразующим фактором.

Инновационные технологические решения

Инновационные технологические решения для переработки марганцевых руд направлены на решение глобальной задачи повышения извлечения марганца при минимизации затрат с одновременным ускорением получения готовой продукции. Данная задача может быть решена за счет перехода на большую крупность перерабатываемых руд, повышения степени селективности раскрытия марганцевых минералов в рудоподготовительном цикле, использования технологии оперативного получения марганцевой товарной продукции из сырья любого качества при возможной ее реализации в модульном варианте.

Предлагаемый комплекс рациональных технологических решений включает в себя крупнокусковое обогащение, селективные рудоподготовительные технологии и биотехнологии.

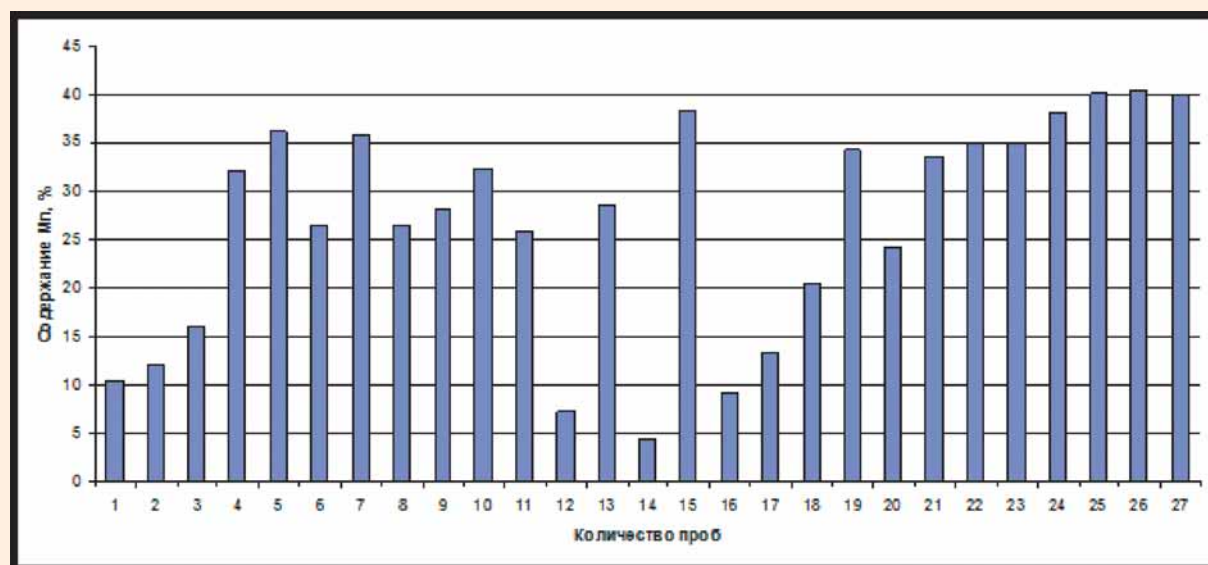
Реализация **крупнокускового обогащения** марганцевых руд позволит существенно повысить эффективность освоения запасов месторождений марганцевых руд. На современном этапе целесообразность внедрения цикла предконцентрации можно определить **без отбора и изучения большеобъемных проб**, а по результатам оценки контрастности руд в недрах с помощью известного и достоверного информационного первоисточника – базы данных геологического опробования [3].

Анализ результатов оценки контрастности марганцевых руд в недрах позволяет:

– обосновать необходимость изучения крупнокусковой обогатимости и целесообразность

Рис. 1.

Гистограмма распределения содержания марганца в недрах одного из месторождений марганцевых руд



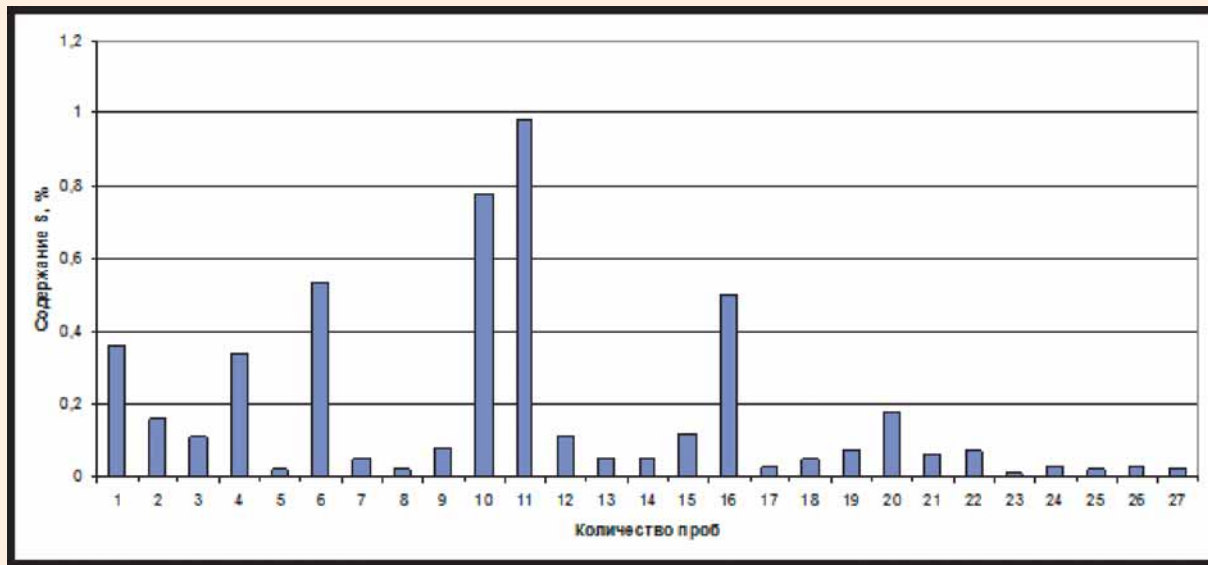


Рис. 2.
Гистограмма распределения содержания серы общей в недрах одного из месторождений марганцевых руд

реализации цикла предобогащения при переработке руд;

- определить прогнозные показатели крупнокускового обогащения руд;
- сократить объемы и сроки выполнения технологических испытаний;
- оценить распределение руд по технологическим типам и сортам;
- оценить возможность селективного удаления вредных компонентов (фосфора, кремнезема, серы, железа) и выделения непродуктивных по содержанию марганца фракций на стадии предконцентрации;
- создать первичную модель обогатимости руд месторождения с дифференциацией обогащенных и обедненных по содержанию марганца и попутных компонентов фракций;
- оценить характер корреляционных связей между основными, попутными и вредными компонентами руд;
- оптимизировать технологическое опробование и изучение руд месторождения.

При наличии в базе данных геологического опробования информации о содержании попутных (в том числе и вредных) компонентов с помощью соответствующих гистограмм определяется характер распределения марганца и, например, серы общей в недрах на участке месторождения, как это показано на **рис. 1** и **2**. Анализ когнитивной графики позволяет в данном случае сделать вывод об отсутствии прямой корреляционной связи между содержаниями марганца и серы общей.

Анализ фракционного состава руд месторождения в недрах при группировке проб по

содержанию марганца (**табл. 1**) показывает, что с увеличением содержания марганца в руде снижается содержание серы.¹

Разделив показатель извлечения серы на показатель извлечения марганца во фракции, определяют градиент скорости удаления серы методами крупнокускового обогащения. Для руды данного месторождения «скорость» извлечения серы превышает «скорость» извлечения марганца в 2,5 раза (фракция 0–25% Mn), что является благоприятным фактором для селективного удаления вредной примеси и прогнозирует эффективность реализации стадии предконцентрации.

По фракционному составу руд определяют показатель контрастности руды в недрах и теоретически возможные показатели крупнопорционной сортировки руд в транспортных емкостях, а также прогнозные показатели разделения руд на технологические сорта, как показано для другого месторождения в **табл. 2**.

Расчетные технологические показатели разделения марганцевых руд на сорта свидетельствуют о возможности удаления из добываемой руды 30% породы с низким содержанием марганца при граничном содержании марганца 10% и получения двух сортов руды – рядовой, подлежащей дальнейшему обогащению, и богатой, направляемой на доводку или непосредственно на металлургический передел. При проектировании участка кучного выщелачивания марганца породу после сортировки можно использовать для формирования основания штабеля, что по-

¹ Исследования по оценке контрастности руд в недрах выполнены инженером-технологом И.Н. Бабичем.

№	Пределы содержания Мп, %	Выход, %	Содержание, %		Извлечение, %		Скорость удаления серы
			Мп	S _{общ}	Мп	S _{общ}	
1	0–25	41,04	15,84	0,28	24,11	60,74	2,52
2	25,1–30	9,65	27,03	0,25	9,67	12,74	1,32
3	30,1–35	29,53	34,26	0,15	37,52	23,39	0,62
4	35,1–40,4	19,78	39,12	0,03	28,70	3,13	0,11
Итого		100	26,96	0,19	100	100	

Таблица 1.
Фракционный состав марганцевых руд при группировке проб по содержанию марганца

зволит не только снизить затраты на реализацию КВ, но и получить дополнительную товарную продукцию. Эффективность кучного выщелачивания и скорость получения товарной продукции могут быть повышены за счет выщелачивания технологических сортов руд в отдельных циклах (штабелях).

Марганцевые руды еще в начале 1970-х гг. привлекли внимание исследователей по радиометрической сепарации в связи с трудностью их обогащения традиционными методами. Различие оксидных и карбонатных минералов Никопольского месторождения по отражательной способности позволило с помощью фотометрического сепаратора *Sortex-611* разделить две разновидности и усовершенствовать технологию [4]. Тем самым было положено начало исследованиям по радиометрическому обогащению марганцевых руд. Разработка в конце 1970-х гг. рентгенорадиометрического способа сепарации, основанного на взаимодействии рентгеновского излучения непосредственно с атомами марганца, повысила возможности радиометрических методов.

Основными преимуществами радиометрического обогащения (сортировка и сепарация) руд вообще и марганцевых руд в частности являются:

- возможность крупнокускового обогащения минерального сырья в широком диапазоне крупности от 1 до 1200 мм с удалением непродуктивной фракции (хвостов);

- получение в кусковом виде товарной продукции, пригодной для металлургического передела без предварительной агломерации;

- достижение высокой селективности разделения за счет использования широкого многообразия свойств элементов и минералов, привлекаемых для их распознавания;

- повышение качества товарной продукции, снижение потерь ценного компонента со шлаками, удаление вредных примесей – железа, фосфора и серы;

- экологическая чистота процессов, возможность кондиционирования и оперативной утилизации крупнокусковых отходов;

- низкая себестоимость процессов предконцентрации.

Новые возможности рудоподготовительных технологий для переработки марганцевых руд

Марганец в месторождениях РФ чаще всего представлен псиломеланом, вернадитом, литиофоритом, тодорокитом, рансьеитом, реже криптомеланом, пиролозитом, браунитом, манганитом, рамсделлитом в различных соотношениях и с различной формой выделения – от кристаллической до сажистой (вадовой) даже в пределах одного участка.

Структура минеральных агрегатов скрытокристаллическая, концентрически-зональная. Как правило, руды одного месторождения имеют разнообразную текстуру: брекчиевую, це-

Таблица 2.
Сортовой состав месторождения марганцевых руд

Сорт руды	Выход, %	Содержание Мп, %	Извлечение Мп, %
Порода	30	4	6,5
Рядовая руда	48,4	20,1	51,8
Богатая руда	21,6	36,4	41,7
Исходная руда	100	18,8	100

ментную, землистую, прожилковую, колломорфную, сажистую, значительно реже – массивную.

Минералы марганца из-за неоднократного переотложения находятся в тесном срастании между собой и гидроксидами железа.

Другой характерной особенностью руд является развитие рудных минералов в продуктах выветривания различного типа пород, в которых в основном присутствуют кварц и глинистые минералы.

Особенностью породообразующих минералов является пропитка их гидроксидами железа и марганца, что с одной стороны предопределяет невозможность выделения минералов марганца из-за их микроскопической крупности, а с другой стороны затрудняет разделение минералов породы и рудных минералов методами обогащения из-за отсутствия контрастности как гравитационных, так и магнитных свойств. Но для процессов выщелачивания марганца такие породообразующие минералы являются благоприятным объектом.

Из-за наличия плотных, наряду с легкими пористыми и сажистыми разностями марганцевых минералов в руде одного месторождения, ужесточаются требования к технологиям рудоподготовительного цикла, которые должны обеспечивать:

- достижение максимальной степени селективности раскрытия рудных минералов;
- сокращение уровня шламообразования при дроблении и измельчении;
- расширение диапазона крупности эффективно сепарируемого рудного материала;
- дифференцирование измельченного материала по совокупности физических свойств (крупности, плотности, морфологии частиц) при пневмоклассификации.

Всем указанным требованиям удовлетворяют рудоподготовительные аппараты центробежно-ударного типа: дробилки и мельницы. В сочетании с пневмоклассификаторами указанное оборудование позволяет реализовывать сухие схемы обогащения, в том числе в модульном варианте, поскольку обладает низкой материал- и энергоемкостью, не требует строительства массивных фундаментов и применения сложных систем смазки [5].

Одним из первых опытов применения центробежно-ударного оборудования в области обогащения была разработка технологии и оборудования для переработки марганцевой руды. Реализация именно этой технологии при обогащении карбонатных марганцевых руд Полуночного месторождения (Северный Урал) позволила получить концентрат с содержанием марганца 30,1% (содержание марганца в исход-

ной руде до 19%), при извлечении его в концентрат 79% и хвосты с содержанием марганца до 8%. Технология базировалась на использовании ударно-центробежного измельчения, воздушной классификации и сухого магнитного обогащения. Применение сухого измельчения позволило достигнуть раскрытия минеральных зерен при крупности 3 мм, тогда как при шаровом измельчении крупность готового материала должна была составлять не более 1 мм. Это позволило значительно сократить выход шламов и повысить извлечение полезного компонента. Обогащительная фабрика производительностью 200 тыс. т в год была введена в эксплуатацию в июле 1999 г., в настоящее время фабрика не работает.

На опытно-промышленной установке ЗАО «Урал-Омега» при обогащении окисленных марганцевых руд одного из месторождений Северо-Казахстанского региона с применением центробежно-ударного дробления, пневмоклассификации и сухой магнитной сепарации получен концентрат с содержанием марганца более 40% (в исходной руде до 14%) при извлечении не ниже 70%. Содержание марганца в хвостах обогащения составило около 6%.

В России сухие рудоподготовительные технологии (СРТ): мелкое дробление (заменяет измельчение в стержневых мельницах), измельчение (заменяет измельчение в шаровых мельницах) и пневмоклассификация, – испытаны в опытно-промышленном масштабе на разных типах руд (ООО «НВП Центр-ЭСТАгео»), но в большей степени на упорных труднообогащаемых рудах золота и платины [6].

Линии сухих рудоподготовительных технологий могут быть использованы в модульных комплексах и для переработки марганецсодержащего техногенного сырья (шлаки, кеки, шламы) [7].

Достигнутый существенный прирост извлечения золота при кучном выщелачивании (КВ) после дробления материала центробежно-ударным способом (18,3%) позволяет прогнозировать более высокие показатели и при переводе в раствор более легковыщелачиваемого марганца. В лабораторных и укрупненно-лабораторных условиях при моделировании процесса цианирования золота методом КВ в перколяционных колонах время выщелачивания составляет 3–4 месяца, в то время как установленное время выщелачивания марганца в аналогичных условиях всего 1,5–2 месяца. Использование центробежно-ударных дробилок для подготовки штабелей КВ марганецсодержащего сырья позволит ускорить процесс получения дефицитной в РФ товарной продукции.

Исходя из вышесказанного, сухие рудоподготовительные технологии являются весьма перспективными для переработки марганцевых руд, в том числе методом кучного выщелачивания с использованием модульного принципа для обслуживания групп сближенных, мелких по запасам месторождений.

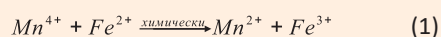
Дробилки центробежно-ударного типа выпускаются в типоразмерном ряду, согласованном с гравитационно-каскадными пневмокласификаторами производительностью от 2 до 300 т/час.

Новые возможности биотехнологии для переработки марганецсодержащего сырья

Мировое потребление марганца неуклонно растет, повышенный спрос различных отраслей промышленности на данный металл способствует вовлечению в переработку месторождений не только природного, но и техногенного происхождения. Россия располагает значительными запасами как природного, так и техногенного сырья с повышенным содержанием в них марганца [8].

Широкому внедрению в производство по получению марганецсодержащей продукции препятствует отсутствие доступных технологий извлечения марганца. На эффективность известных технологических решений оказывает влияние в первую очередь поливалентный характер марганца.

Основанием для проведения биотехнологических исследований по выщелачиванию марганца послужила установленная способность микроорганизмов различных групп восстанавливать марганец до двухвалентного состояния, при котором металл уже эффективно может быть переведен в раствор. Восстановление Mn(IV) может происходить как ферментативным путем, так и в результате действия различных метаболитов. Существуют различные восстановители марганца. При наличии ионов закисного железа осуществляется химическая реакция (1):



Как известно, потенциал MnO_2 в кислой среде равняется 1,23 В. Поэтому в кислых условиях восстановление Mn(IV) происходит также химически в присутствии сульфидных минералов, серы, сероводорода и сернистого газа. Присутствие штаммов *Ac. Thiooxidans* способствует этим процессам путем использования диоксида марганца в качестве акцептора электронов при окислении серы. Переведенный в раствор марганец осаждают известными методами, в ре-

зультате чего получают различные конечные продукты: соли марганца, высококачественный марганцевый концентрат (ВМК), а при дальнейшей переработке – электролитический диоксид марганца (ЭДМ) или электролитический металлический марганец (ЭММ).

Сернокислотное выщелачивание по сравнению с бактериальным позволяет переводить в раствор только двухвалентный марганец, никак не влияя на четырех- и семивалентный, присутствующие в вещественном составе различного минерального сырья. Поливалентность марганца непосредственно отражается на показателе извлечения ценного компонента в раствор. При сернокислотном выщелачивании степень его извлечения составляет не более 50–60%, а затраты на его получение достаточно высокие, так как этот процесс требует расходов серной кислоты в десятки раз больше по сравнению с бактериальным. Данный фактор является одним из основных, влияющих на экономическую и экологическую составляющие процессов переработки.

Извлечение марганца в раствор при выщелачивании окисленных минералов, например, псиломелана с использованием серной кислоты без дополнительного введения восстановителей практически не происходит. Бактериальное выщелачивание позволяет значительно ускорить процесс перевода марганца в раствор, а добавление в качестве восстановителя пирита способствует еще большему увеличению эффективности, обеспечивая 97% извлечения марганца в раствор [9–16].

Индия, занимающая третье место в мире по запасам марганца, уже в 1980-х гг. прошлого столетия начала заниматься его бактериальным выщелачиванием. Полученные результаты еще тогда открывали большие перспективы по возможности применения данного способа для получения одного из важнейших стратегических металлов. Состояние данного направления на сегодняшний день в Индии сложно оценить, так как результаты дальнейших исследований по данной тематике Индия не публикует [17].

Вопрос о принципиальной возможности переработки марганцевых руд кучным и подземным выщелачиванием в России поднимался еще в конце 1990-х и начале 2000-х гг. [18–22]. Есть сведения, что в конце прошлого столетия начато строительство фабрики по переработке руд Ивдельского месторождения методом скважинного подземного выщелачивания, в настоящее время эта информация требует подтверждения.

Подземное биовыщелачивание может оказаться весьма перспективным не только для переработки марганцевых руд, но и комплексных руд, содержащих кроме марганца другие попутные ценные компоненты, легко перево-

димые в раствор одним и тем же выщелачивающим агентом (медь, никель, кобальт, цинк, железо, уран).

Изученные компанией ООО «НВП Центр-ЭСТАгео» отходы производства ферромарганца были представлены оксидами кремния, кальция и марганца, содержания которых составляли 22,70, 19,40 и 11,43%, соответственно. В результате бактериального выщелачивания достигнуто извлечение марганца в раствор более 99%, при этом его концентрация в продуктивном растворе составила 8,50 г/л².

В результате переработки продуктивных растворов удалось получить высококачественный марганцевый концентрат (ВМК) с содержанием ценного компонента в нем 47% при извлечении из раствора 99,9%. Процесс реализован в чановом варианте выщелачивания, исходя из исходной крупности отходов – менее 100 мкм. Для переработки природного марганцевого сырья наиболее перспективным методом может стать технология кучного биовыщелачивания [23].

Положительный пример промышленного использования технологии кучного биоокисления бедных упорных золотосульфидных руд продемонстрировала компания Ньюмонт с применением технологии *BIOPRO™*. В 1988 г. компанией Ньюмонт были начаты лабораторные исследования процессов биоокисления. Опытно-промышленные испытания данной технологии начались в 1990 г., а в конце 1999 г. компания получила золото уже в промышленном масштабе.

В России на промплощадке Башкирской золотодобывающей компании (БЗДК) с научно-методическим сопровождением ООО «НВП Центр-ЭСТАгео» проводятся опытно-промышленные испытания упорных золотосульфидных руд, прямое цианирование которых позволяет извлечь золото всего на 35–42%, серебро – на 20%. После биовскрытия материала кучи (крупность руды в штабеле КВ менее 40 мм) извлечение золота составило 84,7%, серебра – 89,0%.

Выполнен сравнительный опыт по эффективности кучного и чанового цианирования золота и серебра: от материала штабеля КВ после его биовскрытия выделена проба массой около 1 тыс. т, измельчена до крупности менее 0,1 мм и процианирована на фабричной установке чанового выщелачивания. Получены практически те же результаты извлечения благородных металлов в цианистый раствор – 85% золота и 90% серебра, что и при кучном выщелачивании материала крупностью 40 мм. Вывод очевиден.

С 2015 г. на БЗДК испытывается в условиях кучного биовыщелачивания упорная руда с по-

вышенными содержаниями меди и цинка. Установленные концентрации меди в продуктивных растворах до 6 г/л, цинка – до 10 г/л являются приемлемыми для ведения гидрометаллургических процессов.

В 2017 г. ПАО «Селигдар» в условиях якутского севера совместно с ООО «НВП Центр-ЭСТАгео» заложили первую опытную кучу для переработки упорной золотосодержащей руды месторождения Самолазовское [24]. Мониторинг процесса указывает на удовлетворительную скорость процесса биоокисления. Оба предприятия получили совместный патент на способ доизвлечения золота из отработанных штабелей КВ биотехнологическим способом.

В 2017 г. ЗАО «ЭКАМ» совместно с ППГХО (г. Краснокаменск) провели опытно-промышленные испытания кучного бактериального выщелачивания первичных пиритно-арсенопиритных золотосодержащих руд.

Анализ результатов, полученных при проведении биотехнологических исследований в последнее время, показывает, что эта технология все чаще находит применение во многих странах мира, ориентируясь не только на вскрытие благородных металлов, но и выщелачивание многих других элементов. Учитывая установленную исследованиями ООО «НВП Центр-ЭСТАгео» высокую скорость перевода марганца в раствор под действием микроорганизмов, превышающую в несколько раз скорость процессов сернокислотного выщелачивания и биовскрытия золота, переработка природного и техногенного марганецсодержащего сырья методом бактериального кучного выщелачивания может стать высококачественным производством с получением высококачественных марганцевых концентратов (ВМК) даже в условиях модульных установок на небольших по запасам объектах. А это открывает широчайшие перспективы сокращения дефицита РФ в марганецсодержащей продукции: металлического марганца, диоксида марганца, сплавов и других соединений (*рис. 3*).

Предварительные технико-экономические расчеты указывают на возможность высококачественной переработки отходов обогащения и металлургии (шламов газоочистки ферросплавных производств), начиная с годовой производительностью предприятия 50 тыс. т отходов с содержанием марганца не ниже 6–6,5% в чановом варианте. Исходная кусковая руда (с содержанием марганца 10% и крупностью 40 мм и более) может быть переработана методом кучного выщелачивания с высокой рентабельностью, начиная с годовой производительности участка КВ 100 тыс. т.

² Исследования по бактериальному выщелачиванию выполнены под руководством инженера-биотехнолога Е.А. Аширбаевой

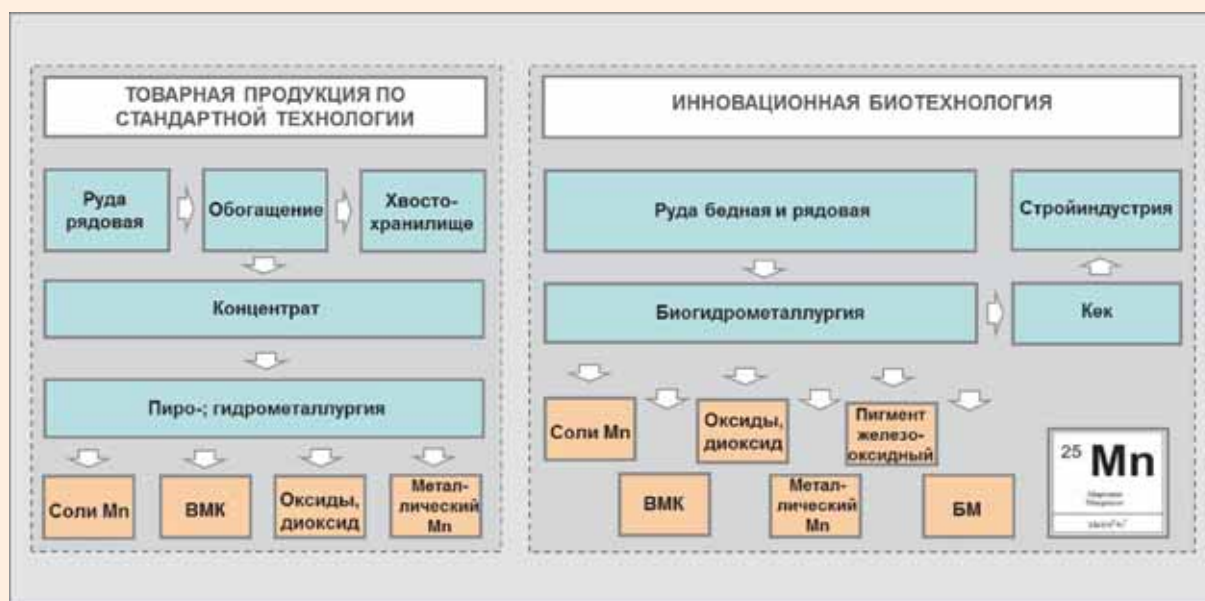



Рис. 3.
Расширение ассортимента получаемой продукции по новой технологии

Новая технология биотехнологического получения марганца позволит вовлечь в переработку албандиновые и албандин-спессартиновые руды марганца, то есть возможно расширение минерально-сырьевой базы марганца за счет новых типов ранее неперерабатываемых руд.

Полномасштабное освоение марганцевых месторождений с использованием кучного биовыщелачивания открывает возможность расширения и минерально-сырьевой базы благородных металлов, учитывая известную их приуроченность к марганцевым рудам [25]. Переформатирование рудного штабеля после выщелачивания марганца и железа (возможно и цветных металлов) на извлечение золота и серебра не является высокзатратной операцией.

Целевым назначением полномасштабного внедрения предлагаемого комплекса рациональных технологических решений является:

- импортозамещение и оперативная ликвидация дефицита марганца за счет собственных ресурсов;
 - технологический прорыв в сфере освоения запасов марганца;
 - интенсификация развития технологий, опережающий мировой уровень;
 - получение материалов с новыми технологическими свойствами;
 - расширение минерально-сырьевой базы черных, цветных и благородных металлов;
 - привлечение малого и среднего бизнеса к освоению месторождений с небольшими запасами;
 - организация новых рабочих мест;
 - создание новых секторов промышленности;
 - развитие регионов.
- Осталось найти решительных людей! 

Литература

1. Стратегия развития черной металлургии России на 2014–2020 гг. и на перспективу до 2030 г. Утверждена приказом Минпромторга России от 05.05.2014 № 839. Доступно на: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70595824/> (обращение 23.04.2019).
2. Государственный доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов РФ в 2016 и 2017 гг. М. 2018.
3. Требования к изучению радиометрической обогатимости минерального сырья при разведке месторождений металлических и неметаллических полезных ископаемых. Утверждены председателем ГКЗ 23.11.1992. М. 1993. 24 с.
4. Башлыкова Т.В., Пахомова Г.А., Лагов Б.С. и др. Технологические аспекты рационального недропользования / Под ред. Ю.С. Карабасова. М.: МИСис. 2005.
5. Башлыкова Т.В., Пахомова Г.А., Гетман С.В., Ларионов А.Н. Перспективное использование аппаратов центробежно-ударного типа при переработке минерального сырья // Переработка минерального сырья. Инновационные технологии и оборудование. Сборник материалов IV Международной научно-технической конференции. Минск. 2012.
6. Артамонов А.В., Колодежная Е.В., Ультаракова Д.Д., и др. Влияние способа дезинтеграции руды на извлечение благородных металлов // Золото и технологии. 2014. № 2.

7. Козин А.Ю., Колодежная Е.В., Артамонов А.В. и др. Современные процессы вскрытия минеральных комплексов в схемах переработки техногенного марганецсодержащего сырья // Переработка минерального сырья. Инновационные технологии и оборудование. Сборник материалов 5-й Международной научно-технической конференции. Минск. 2014.
8. Аширбаева Е.А., Пинясов М.В., Терентьева Е.А., Баранова Е.Н. Развитие биогидрометаллургических технологий для переработки комплексного минерального сырья // Рациональное освоение недр. 2015. № 5–6. С. 99–103.
9. Белый А.В., Пустошилов П.П., Гурвич Ю.Л. Биотехнология переработки марганцевых руд // Состояние марганцево-рудной базы России и вопросы обеспечения промышленности марганцем. Материалы Второй Всероссийской научно-технической конференции по проблеме (17–19 июля 2001 г., Красноярск). Сборник докладов. Красноярск: КНИИГиМС. 2001. С. 220.
10. Биотехнология металлов. Труды Международного семинара и Международных учебных курсов / Под ред. Г.И. Каравайко, С.Н. Грудева. М.: Центр Международных проектов ГКНТ. 1985. 435 с.
11. Биотехнология металлов. Практическое руководство / Под ред. Г.И. Каравайко, Дж. Росси, А. Агате, С. Грудев, З.А. Авакян. М.: Центр Международных проектов ГКНТ. 1989. 375 с.
12. Лебедев Е.В., Юрченко В.А., Ремизов В.И., Каравайко Г.И. Роль нитрифицирующих бактерий в извлечении Mn из карбонатной марганцевой руды // Прикладная биохимия и микробиология. 1993. Т. 29. № 6. С. 895–899.
13. Юрченко В.А., Каравайко Г.И., Ремизов В.И., Ключникова Т.М. // Прикладная биохимия и микробиология. 1987. Т. 23. № 3. С. 404.
14. Kai T., Suenaga Y., Migita A., Takahashi T. Kinetic model for simultaneous leaching of zinc sulfide and manganese dioxide in the presence of iron-oxidizing bacteria // Chem. Eng. Sci. 2000, 55. P. 3429–33436.
15. Porro S., Donati E., Tedesco P.H. Bioleaching of manganese (IV) oxide and application to its recovery from ores // Biotechnol. Lett. 1990. V. 12, N11. P. 847–852.
16. Wu R., Tsai L.B., Krebs-Yuill B.A., Milligan D.A., Troncoso N.J., McBride J.S., Knecht F.T. Treating manganese-containing ores with a metal sulfide // pat. 4752332 USA, МКI С 22 В 11/04 // Eusci, Inc. - №858056; Заявлено 30.04.86; Опубл. 21.06.88; НКУ 75/101R
17. Агате А.Д. Микробиологические методы выщелачивания марганца в Индии // Биотехнология металлов. Труды Международного семинара и Международных учебных курсов. М.: Центр Международных проектов ГКНТ. 1985. С. 392.
18. Фазлуллин М.И., Гуров В.А., Гордиенко О.Е. и др. Принципиальная возможность отработки марганцевых месторождений кучным и подземным выщелачиванием // Состояние марганцеворудной базы России и вопросы обеспечения промышленности марганцем. Материалы Второй Всероссийской научно-технической конференции по проблеме. 17–19 июля 2001 г. Красноярск: КНИИГиМС. 2001. С. 143.
19. Черняк А.С. Химическое обогащение руд. М.: Недра. 1965.
20. Добыча урана методом подземного выщелачивания. М.: Атомиздат. 1980.
21. Калабин А.И. Добыча полезных ископаемых подземным выщелачиванием и другими геотехнологическими методами. М.: Атомиздат. 1981.
22. Трубецкой К.Н., Чантурия В.А., Воробьев А.Е., Тигунов Л.П., Башлыкова Т.В. и др. Марганец / Под ред. акад. К.Н. Трубецкого. М.: Изд-во АГН. 1999. 271 с.
23. Башлыкова Т.В., Аширбаева Е.А., Пинясов М.В. Бактериальное выщелачивание марганца из техногенных продуктов // Биотехнология: состояние и перспективы развития. Материалы международного конгресса. М. 2017. С. 451–452.
24. «Селигдар» запустил опытное производство по кучному биовыщелачиванию золота из упорных руд. Доступно на: <http://seligdar.ru/post/8206/> (обращение 23.04.2019).
25. Башлыкова Т.В., Пахомова Г.А., Амосов Р.А., Подконеи Н.И., Макавецкас А.Р. Золотоносность марганцевых руд России. Атлас. М.: Теплоэнергетик. 2004. 184 с.

UDC 662.7

T.V. Bashlykova, Director of Tsentr-ESTAgeo Research and Innovation Company¹, Project Manager, National University of Science and Technology MISiS, gala@estageo.ru

¹Leninsky Prospect 6 bld. 1, Moscow, 119049, Russia

Key Role of New Technologies in the Full-scale Development of Russian Manganese Fields

Abstract. Consideration is given to the reasons for the absence of manufacturing of manganese products in Russia using domestic resource base and proprietary technologies. A range of technological solutions is proposed for involvement of complex manganese ore and technogenic waste into a full-scale processing. The key role of biotechnology in creating cost-effective technological schemes for manganese extraction is shown

Keywords: manganese mineral resource base in Russia; new technologies of manganese extraction; new criteria for priority objects selection

References

1. *Strategija razvitiya chernoj metallurgii Rossii na 2014–2020 gg. i na perspektivu do 2030 g. Utverzhdena prikazom Minpromtorga Rossii ot 05.05.2014 № 839* [Development Strategy for the Russian Steel Industry for 2014–2020 and for the future up to 2030. Approved by order of

- the Ministry of Industry and Trade of Russia of 05.05.2014 No. 839.]. Available at: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70595824/> (accessed 23 April 2019).
2. *Gosudarstvennyj doklad o sostojanii i ispol'zovanii mineral'no-syr'evykh resursov RF v 2016 i 2017 gg.* [State report on the state and use of mineral resources of the Russian Federation in 2016 and 2017]. Moscow, 2018.
 3. *Trebovanija k izucheniju radiometricheskoj obogatimosti mineral'nogo syr'ja pri razvedke mestorozhdenij metallicheskih i nemetallicheskih poleznykh iskopaemyh. Utverzhdeny predsedatelem GKZ 23.11.1992* [Requirements for the study of radiometric enrichment of mineral raw materials in the exploration of metallic and non-metallic mineral deposits. Approved by the GKZ Chairman on 11/23/1992]. Moscow, 1993, 24 p.
 4. Bashlykova T.V., Pahomova G.A., Lagov B.S. i dr. *Tehnologicheskie aspekty racional'nogo nedropol'zovanija* [Technological aspects of rational use of mineral resources]. Edited by Ju.S. Karabasov. Moscow, MISIS Publ., 2005.
 5. Bashlykova T.V., Pahomova G.A., Getman S.V., Larionov A.N. *Perspektivnoe ispol'zovanie apparatov centrobezchno-udarnogo tipa pri pererabotke mineral'nogo syr'ja* [Perspective use of centrifugal-impact type apparatus in the processing of mineral raw materials]. *Pererabotka mineral'nogo syr'ja. Innovacionnye tehnologii i oborudovanie* [Mineral processing. Innovative technologies and equipment]. Proc. IV Int. Conf. Minsk. 2012.
 6. Artamonov A.V., Kolodeznaja E.V., Ul'tarokova D.D., i dr. *Vlijanie sposoba dezintegracii rudy na izvlechenie blagorodnykh metallov* [The influence of the method of ore disintegration on the extraction of precious metals]. *Zoloto i tehnologii* [Gold and technology], 2014, no. 2.
 7. Kozin A.Ju., Kolodeznaja E.V., Artamonov A.V. i dr. *Sovremennye processy vskrytija mineral'nykh kompleksov v shemah pererabotki tehnogennogo margancsoderzhashhego syr'ja* [Modern processes of opening of mineral complexes in the schemes of processing man-made man-made raw materials]. *Pererabotka mineral'nogo syr'ja. Innovacionnye tehnologii i oborudovanie* [Mineral processing. Innovative technologies and equipment]. Proc. V Int. Conf. Minsk. 2014.
 8. Ashirbaeva E.A., Pinjasov M.V., Terent'eva E.A., Baranova E.N. *Razvitie biogidrometallurgicheskikh tehnologij dlja pererabotki kompleksnogo mineral'nogo syr'ja* [Development of biohydrometallurgical technologies for processing complex mineral raw materials]. *Racional'noe osvoenie nedr* [Rational development of the subsoil], 2015, no. 5–6, pp. 99–103.
 9. Belyj A.V., Pustoshilov P.P., Gurvich Ju.L. *Biotehnologija pererabotki margancevykh rud* [Biotechnology processing of manganese ores]. *Sostojanie margancevo-rudnoj bazy Rossii i voprosy obespechenija promyshlennosti margancem* [The state of the manganese ore base of Russia and the issues of providing industry with manganese]. Proc. 2 conf., 17–19 July 2001, Krasnojarsk, KNIIGiMS Publ., 2001, p. 220.
 10. *Biogetehnologija metallov* [Metal biogetechnology]. Proc. Int. Seminar and Int. Training Courses. Edited by G. Karavajko, S. Grudev. Moscow, GKNT Publ., 1985, 435 p.
 11. *Biogetehnologija metallov. Prakticheskoe rukovodstvo* [Biogetechnology metals. Practical guide]. Edited by G.I. Karavajko, Dzh. Rossi, A. Agate, S. Grudev, Z.A. Avakjan. Moscow, GKNT Publ., 1989, 375 p.
 12. Lebedev E.V., Jurchenko V.A., Remizov V.I., Karavajko G.I. *Rol' nitrificirujushchih bakterij v izvlechenii Mn iz karbonatnoj margancevoj rudy* [The role of nitrifying bacteria in the extraction of Mn from manganese carbonate ore]. *Prikladnaja biohimija i mikrobiologija* [Applied biochemistry and microbiology]. 1993, vol. 29, no. 6, pp. 895–899.
 13. Jurchenko V.A., Karavajko G.I., Remizov V.I., Kljushnikova T.M. *Prikladnaja biohimija i mikrobiologija* [Applied biochemistry and microbiology], 1987, vol. 23, no. 3, pp. 404.
 14. Kai T., Suenaga Y., Migita A., Takahashi T. Kinetic model for simultaneous leaching of zinc sulfide and manganese dioxide in the presence of iron-oxidizing bacteria // *Chem. Eng. Sci.* 2000, 55. P. 3429-33436.
 15. Porro S., Donati E., Tedesco P.H. Bioleaching of manganese (IV) oxide and application to its recovery from ores // *Biotechnol. Lett.* 1990. V. 12, N11. P. 847-852.
 16. Wu R., Tsai L.B., Krebs-Yuill B.A., Milligan D.A., Troncoso N.J., McBride J.S., Knecht F.T. Treating manganese-containing ores with a metal sulfide // *pat. 4752332 USA, MKI C 22 B 11/04* // *Eusci, Inc.* - №858056; *Zajavlu* 30.04.86; *Opubl.* 21.06.88; *NKU* 75/101R
 17. Agate A.D. *Mikrobiologicheskie metody vyshhelachivaniya marganca v Indii* [Microbiological methods of manganese leaching in India]. *Biogetechnologija metallov* [Biogetechnology of metals]. Proc. Int. Seminar and Int. Training Courses. Moscow, GKNT Publ., 1985, 392 p
 18. Fazlullin M.I., Gurov V.A., Gordienko O.E. i dr. *Principial'naja vozmozhnost' otrabotki margancevykh mestorozhdenij kuchnym i podzemnym vyshhelachivaniem* [The principal possibility of mining manganese deposits by heap and underground leaching]. *Sostojanie margancevorudnoj bazy Rossii i voprosy obespechenija promyshlennosti margancem* [The state of the manganese ore base of Russia and the issues of manganese industry]. Proc. 2 conf. 17–19 July 2001, Krasnojarsk, KNIIGiMS Publ., 2001, pp. 143.
 19. Chernjak A.S. *Himicheskoe obogashhenie rud* [Chemical enrichment of ores]. Moscow, Nedra Publ., 1965.
 20. *Dobycha urana metodom podzemnogo vyshhelachivaniya* [Underground leaching of uranium]. Moscow, Atomizdat Publ., 1980.
 21. Kalabin A.I. *Dobycha poleznykh iskopaemykh podzemnym vyshhelachivaniem i drugimi geotehnologicheskimi metodami* [Extraction of minerals by underground leaching and other geotechnological methods]. Moscow, Atomizdat Publ., 1981.
 22. Trubeckoj K.N., Chanturija V.A., Vorob'ev A.E., Tiginov L.P., Bashlykova T.V. i dr. *Marganec* [Manganese]. Edited by akad. K.N. Trubetskoy. Moscow, AGN Publ., 1999, 271 p.
 23. Bashlykova T.V., Ashirbaeva E.A., Pinjasov M.V. *Bakterial'noe vyshhelachivanie marganca iz tehnogennykh produktov* [Bacterial leaching of manganese from man-made products]. *Biotehnologija: sostojanie i perspektivy razvitiya* [Biotechnology: state and development prospects]. Proc. Int. Congr. Moscow, 2017, pp. 451–452.
 24. *«Seligdar» zapustil opytnoe proizvodstvo po kuchnomu biovyshhelachivaniyu zolota iz upornykh rud* [Seligdar launched a pilot production for heap bioleaching of gold from refractory ores]. Available at: <http://seligdar.ru/post/8206/> (accessed 23 April 2019).
 25. Bashlykova T.V., Pahomova G.A., Amosov R.A., Podkonen N.I., Makaveckas A.R. *Zolotonosnost' margancevykh rud Rossii. Atlas* [Gold-bearing manganese ores in Russia. Atlas]. Moscow, Teplojenergetik Publ., 2004, 184 p.