

УДК 669.

## **Технологические решения, обеспечивающие сохранение окружающей среды в районах деятельности металлургических предприятий**

Леонтьев Л.И., Селиванов Е.Н.

(Институт металлургии УрО РАН, г. Екатеринбург, e-mail: pcmlab@mail.ru)

Современное состояние металлургического комплекса РФ характеризуется ограниченностью собственных сырьевых ресурсов по ряду металлов (Fe, Al, Ti, Sn, Cr, Mn) и масштабным вовлечением в переработку импортного сырья, а также закупкой за рубежом ряда металлов (Zn, Pb, Sn, W, Mo), производство которых отстает от возрастающих потребностей. В то же время РФ полностью обеспечена сырьем и мощностями по выпуску Cu, Ni, Mg, Si, V, Co, Ag, Au, Pt, Pd, Se, Te, In, Cd и др., которые, частично, экспортируются. Безусловно, РФ располагает сырьевыми ресурсами по всем металлам, однако вовлечение их в переработку не всегда рентабельно в связи с расположением месторождений в отдаленных районах со сложными климатическими и геофизическими условиями, не обеспеченными необходимой инфраструктурой и кадрами. Поэтому такие уникальные месторождения как Удоканское и Томторское до сих пор не эксплуатируются.

Особенностью уральского ГМК является использование на ряде предприятий устаревших технологий и оборудования, не обеспечивающих современного уровня по комплексности использования сырья и охране окружающей среды. Снижение качества сырья и возрастающие требования к охране окружающей среды в районе деятельности предприятий заметно снижают экономическую эффективность производств. Невозможность, экономическая нецелесообразность или нежелание проводить коренную реконструкцию приводит к консервации или ликвидации отдельных производств и закрытию заводов (уральские никелевые заводы). Негативным аспектом также является исчерпание научного задела по развитию технологий для конкретных предприятий. Это связано не только с практически полной ликвидацией отраслевых институтов, стремлением уменьшить затраты на исследования, но отсутствием координации в вопросах развития металлургических производств. Обращает на себя внимание практически полное отсутствие грантовой поддержки научных и прикладных изысканий металлургической направленности, в связи с чем не создается опережающий задел по технологиям переработки низкокачественного сырья и техногенных отходов.

Горно-металлургический комплекс старопромышленных регионов претерпевает структурные изменения. Так более чем 300 летняя эксплуатация рудных месторождений Урала привела к истощению запасов, снижению качества сырья и экономической эффективности его переработки. Для продления жизненного цикла деятельности заводов все в большей мере вовлекается в переработку техногенные отходы и вторичное сырье. Однако эти источники не решают проблему обеспечения сырьем, а значит и перспектив развития заводов. В этой связи наблюдается переориентация предприятий на производство продукции с более высокими потребительскими свойствами. Так в рамках УГМК – Холдинга эта задача решена путем создания и модернизации производств медной катанки и кабеля, медных порошков и изделий из них, мерных слитков из драгоценных металлов, радиаторов и теплообменников, а также оцинкованию металлов и др.

Современное состояние металлургического комплекса Урала характеризуется ограниченностью сырьевых ресурсов, сложным минералогическим составом перерабатываемых руд, образованием большого количества не утилизируемых отходов переделов обогащения (хвосты флотации и магнитной сепарации) и плавки (шлаки), существенными выбросами в окружающую среду вредных газов (CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> и др.). Товарная продукция, выпускаемая предприятиями черной и цветной металлургии, не претерпела существенных изменений за последние два десятилетия. В соответствии с запросами машиностроительного комплекса РФ, зарубежных предприятий и торговых фирм ведется выпуск металлов и сплавов непротивительного сортамента. Наметившаяся тенденция в использовании в производстве металлов новейшего импортного оборудования не всегда сочетается с имеющимися видами сырья и номенклатурой продукции.

Институтами РАН ведутся исследования по разработке новых технологий переработки полиметаллического сырья. Целью работ является создание, на основе выявленных особенностей физико-химических свойств руд, концентратов и техногенных отходов, экологически безопасных способов и процессов, обеспечивающих производство металлов, сплавов и попутной продукции при максимально возможном коэффициенте комплексности использования сырья. В задачи работ входит изучение структуры и свойств сырья, научное и экспериментальное обоснование базовых элементов технологий, моделирование процессов, сопоставление полученных данных с известными аналогами и представление результатов исследования потенциальным инвесторам. В основу проводимых технологических работ положены оригинальные научные результаты по: определению минералогического состава руд и форм нахождения ценных металлов в ходе термической обработки; термодинамическому моделированию процессов восстановления и сульфидирования металлов в системах, отвечающих реальным продуктам производства; взаимодействию минералов с растворами кислот; экстракции металлов из растворов органическими и неорганическими реагентами; структуре и свойствах формирующихся фаз и продуктов взаимодействия; межфазному распределению элементов.

**Переработка сульфидного сырья.** Из сульфидного сырья производят, без учета вторичных ресурсов, 95% меди, 60% никеля, 100% свинца, 100% молибдена и 95% цинка. Попутно извлекают Co, Pt, Pd, Os, Ir, Ru, Rh, Au, Ag, As, Se, Te, Zn, Cd, In, Bi, Sb, Sn, а также серу в виде элементной или серной кислоты. Производство сопряжено с добычей миллионов тонн рудной массы, которую подвергают обогащению методом флотации с выделением целевых концентратов. На переделе обогащения основную массу серы (80-90%) в виде пирита или пирротина переводят, в хвосты или соответствующие концентраты. Содержание драгоценных металлов в этих концентратах нередко превышает кондиции для золото - платиновых руд. В связи с сокращением спроса химических заводов на пирит-пирротинные концентраты, сульфиды железа направляют в хвостохранилища совместно с нерудными оксидными составляющими (по РФ ежегодно до 20 млн. т серы). В настоящее время накоплены сотни млн. т таких продуктов. В контакте с атмосферой происходит медленное окисление сульфидов и выщелачивание сульфатов, что ведут загрязнению почв и водных бассейнов.

Классическая технология переработки концентратов цветных металлов включает переделы обжига, плавки, конвертирования и последующего рафинирования металлов до требований ГОСТ. Металлургическая переработка ведется, в основном, пирометаллургическими методами, сопряженными с окислением сульфидов и переводом серы в газ в виде сернистого ангидрида. Нестабильность газовых потоков по объему и по содержанию SO<sub>2</sub>, не позволяет полностью использовать его для производства серной кислоты.

Из сопоставления источников загрязнения окружающей среды по сернистому ангидриду можно сказать о практически равном (по объему выбросов SO<sub>2</sub>) влиянии энергетики, металлургии и антропогенных источников. Если повлиять на антропогенные источники практически невозможно, то на предприятиях энергетики и металлургии, за счет постоянного совершенствования технологий, выбросы SO<sub>2</sub> постоянно сокращаются.

Начиная с 50-х годов прошлого столетия проводится модернизация предприятий, с переводом их на автогенные и автоклавные технологии. Автогенные агрегаты (КФП, КИВЦЭТ, КВП, ПВ, Айзасмелт и др.) позволяют плавить сульфидное сырье на богатый штейн и одновременно получать стабильный поток сернистого газа, который полностью направляют на производство серной кислоты или элементарной серы. К другим преимуществам технологий относят: высокую единичную мощность агрегатов, использование тепловой способности сульфидов, высокая степень концентрирования ценных металлов и др.

Промышленное освоение автогенных процессов привело к изменению составов и объемов всех выделяемых полупродуктов (штейн, шлак, газ, пыль), межфазного распределения основных и сопутствующих металлов. Соответственно, возникла необходимость изучения свойств этих материалов и обоснованного изменения параметров работы оборудования. Эти задачи последовательно решаются промышленными предприятиями с привлечением академических и отраслевых институтов.

Металлургические предприятия УГМК – Холдинга также проводят масштабные мероприятия по охране окружающей среды. На ОАО СУМЗ в результате перехода на автогенные процессы переработки сульфидных концентратов и реконструкции системы очистки газов с их использованием в серноокислотном производстве, практически исключены выбросы в атмосферу сернистого ангидрида. Такое решение привело к наращиванию производства попутной продукции - серной кислоты. Имея в виду, что серноокислотные заводы РФ используют в качестве сырьевого источника элементарную «газовую» серу, отпала востребованность в пиритных концентратах. Кроме того, низкое качество кислоты металлургических предприятий снизило ее конкурентные преимущества. Сложившаяся ситуация потребовала создания цехов по нейтрализации избыточной кислоты.

**Переработка оксидных никелевых руд.** Отечественное производство никеля на протяжении более 80 лет обеспечивало выпуск легированных сталей и жаропрочных сплавов, солей, порошков, а также прогрессивных видов техники на основе этой продукции. На ОАО Норильский никель, Североникель, Печенганикель, Уфалейникель, Южуралникель и Режникель производили 0,25 млн.т никеля. Оксидные никелевые руды Урала отличаются низким содержанием никеля (около 1% против 1,5% и выше в зарубежном сырье). Переработка таких руд способом восстановительно-сульфидирующей шахтной плавки на штейн, с последующей его доработкой до металлического никеля, сопряжена с большим расходом кокса и выбросом сернистого ангидрида в атмосферу. На настоящий момент все уральские заводы законсервированы. Крупные инфраструктурные преобразования, обеспечивающие сокращение выбросов вредных газов в атмосферу, проведены на ОАО Норильский никель, где закрытие никелевого завода и перераспределение грузопотоков внутри холдинга – Надеждинский металлургический завод и комбинате Североникель, обеспечили сокращение выбросов сернистого ангидрида.

В настоящее время ведутся исследования по

В плане создания инновационных способов утилизации техногенных отходов выполнен ряд работ касающихся

Старопромышленный регион, к которым безусловно относится Урал, на современном этапе развития характеризуется высокой концентрацией предприятий горно-металлургического и оборонного комплексов, производства на которых относятся к наукоемким и требующим постоянного привлечения новых знаний для обеспечения конкурентоспособности выпускаемой продукции. Досадно, что в настоящее время базовые отрасли экономики России не являются приоритетами развития и полностью приватизированы. В этих условиях предприятия стремятся повышать рентабельность производств научное обеспечение и практически полностью зависят от

**Переработка бокситов.** Для низкокачественных бокситов (повышенное содержание железа и кремния) предложена технология, включающая восстановительный обжиг с последующей плавкой огарка в электропечи, выщелачивание охлажденного и измельченного шлака. Товарными продуктами технологии являются ферросилиций (около 20% Si) и глинозем. Основные элементы технологии проверены в укрупненном масштабе.

Складывается парадоксальная ситуация, когда: РФ имеет огромные запасы ценных руд, проводит их разведку, но не координирует совершенствование технологий на предприятиях в плане повышения комплексности использования сырья и извлечения сопутствующих металлов; снижение экологического ущерба от деятельности предприятий цветной металлургии полностью возложено на собственников, которые решают задачи в пределах известных технологий; государство выделяет средства на мониторинг окружающей среды в районах деятельности предприятий, в то время как решение экологических проблем лежит в первую очередь в инновационных технологиях; миллионы тонн отходов заскладировано на поверхности, они имеют определенную ценность, но исследования в направлении их использования практически прекращены.

#### Перспективы технологий переработки вторичного сырья цветных металлов

Объемы производства цветных металлов в мире составляют десятки миллионов тонн. Доля Урала весьма значительна как по отношению к тому, что производится в мире, так и РФ. В соответствии с этим предполагается, что и доля вторичного сырья в виде амортизационного лома горно–металлургического сектора, отходов металлообработки, машиностроения, энергетики, химических производств и бытовых изделий также будет достаточно велика. Следует отличать техногенные отходы от вторичного сырья, первые из которых образуются в результате переработки сырья и представляют собой, в основном, вскрышные породы, шлаки и шламы. Под вторичным подразумеваются сырье, образовавшееся в ходе эксплуатации изделий или их производстве. Количество и качество вторичного сырья определяется развитостью экономики.

Если сравнивать технологии производства металлов из рудного и вторичного сырья, то несомненно затраты на выпуск металлов из руд существенно выше. Это связано с тем, что необходим поиск месторождений, их геологоразведка, создание рудников, обогатительных фабрик, собственно металлургических производств, обеспечивающих разделение ценных металлов и выпуск металлов требуемого качества. Переработка вторичного сырья требует меньших затрат, но и она имеет свою специфику, отражающуюся на показателях производств: необходимость сбора и сортировки, сложная логистика, существенно отличающийся от рудного сырья набор металлов и их форм, наличие большого количества органической составляющей, постоянно меняющаяся конъюнктура рынка и др. Все это усложняет переработку сырья на технологических переделах металлургических предприятий занимающихся рудным сырьем и требует выполнения первичной обработки лома. Причем, чем сложнее отработавшее свой срок изделие, тем большие затраты необходимо произвести для его утилизации.

В настоящее время доля металлов, производимых из вторичного сырья постоянно повышается и достигла 30% в выпуске алюминия, никеля и меди, 20% - цинка, 70% - свинца. Что следует ожидать в плане перспектив образования вторичного сырья? Масштабы его несомненно будут расти. Несомненно и то, что инновационные технологии сопряжены с усложнением технологий и материалов, использованием в изделиях новых видов сложнлегированных сплавов, композиционных материалов, созданием неразборных конструкций и т.д. Поступая во вторичную переработку эти материалы будут ухудшать качество сырья, снижать извлечение как в

товарную продукцию. Соответственно, поставляя такое сырье на крупные предприятия, ломосборщики и ломопереработчики первых переделов понесут дополнительные затраты и не смогут реализовать свою продукцию по высокой цене.

Интересен пример организации производства ферроникеля из вторичного никелевого сырья на ОАО «Режникель». Начиная с 1972г. на этом заводе создавалась технология переработки лома железо-никелевых аккумуляторов. В конце 80-х и начале 90-х годов производство достигло своего расцвета – в переработку, помимо аккумуляторного лома были вовлечены сложнелегированные металлоотходы, наждачная пыль, отработанные катализаторы, соли, пасты и т.п. Технология обеспечивала утилизацию шлака, глубокую очистку газов с переработкой пыли и отвечала достаточно жестким требованиям к охране окружающей среды. Выпускаемый гранулированный ферроникель был востребован не только в РФ, но и за рубежом. С переходом на рыночную экономику, упадком машиностроительной, металлообрабатывающей и других отраслей резко снизился объем никельсодержащих отходов. К тому же переработку никельсодержащего сырья стали активно вести малые предприятия, используя для этих целей не приспособленные литейные цехи предприятий черной металлургии. В дальнейшем лом без какой либо обработки стали отправлять за рубеж. Принимаемые в то время нормативные акты, особенно касающиеся «спецэкспортеров», изменения таможенной пошлины в зависимости от содержания никеля в ферроникеле и в ломе, способствовали развалу базовых металлургических технологий.

Положительным примером в переработке вторичного сырья является создание производств по переработке медного лома. В г. В.Новгороде, Нольчике, Каменск- Уральском созданы современные производства, обеспечивающие выпуск качественной и востребованной продукции.

Что касается цинка, то рост его потребления в первую очередь связан с оцинкованием железных изделий, поступление которых во вторичную переработку ведет к образованию цинкосодержащей (около 20% цинка) пыли сталеплавильных переделов. Для переработки такой пыли созданы технологии и строятся предприятия, обеспечивающие ее обогащение и очистку до требований цинковых заводов.

Важно заметить, что в созданной на сегодняшний момент ситуации деятельность малого и среднего бизнеса идет в очень сложных условиях нестабильной налоговой политики, опережающего роста цен на энергоносители и перевозки, огромных процентов по банковским кредитам. Поэтому огромную благодарность следует выразить руководителям предприятий, развивающих производство в столь сложной обстановке.

Можно по разному подходить к развитию металлургии: как в США – субсидируя законсервированные мощности, как в Казахстане – представляя ее национальным приоритетом, как в Китае – развивая огромными темпами, или как в РФ – не обращая внимания на ее угасание. Для гармоничного развития металлургии, как базовой отрасли, обеспечивающей стратегическую безопасность РФ необходимо принятие взвешенных мер по ее государственному регулированию, включающему поиск новых месторождений, добычу руд, их переработку, создание необходимого отечественного оборудования, технологический контроль за деятельностью предприятий, а также стабильной и обоснованной таможенной и налоговой политике, тарифам естественных монополий.

Перечень проектов Техноген

	Название	Сущность технологии	Состояние работ
1	Универсальная технология переработки техногенных, бытовых медицинских, химических опасных отходов с использованием пирометаллургических процессов (Разработчик - МИСиС, ИМЕТ УрО РАН, рук. Леонтьев Л.И.)	Переработка отходов совместно с рудным сырьем в доменных, шахтных печах или вагранках. Подача отходов в печь через колошник или фурмы (вдувание). Обеспечивает извлечение железа и цветных металлов в востребованные продукты. Исключает образование экотоксикантов при переработке органических материалов	Разработана принципиальная схема. Требуется подготовка и проведение опытно-промышленных испытаний для конкретных видов сырья.
2	Переработка твердых бытовых и промышленных отходов на установке плавки в жидкой ванне (Разработчики -ООО УПЕК и Гинцветмет, рук. Халемский А.М.)	Переработка ТБО по экологически безопасной технологии, отработанной для сульфидного сырья. Технология включает высокотемпературное разложение компонентов рабочей массы в слое барбатируемого шлакового расплава при 1250-1400°C. Исключаются образование диоксинов и фуранов.	Проведены опытно-промышленные испытания на ОЗ Гинцветмет (ориентировочно в 1982-1987 гг). Предлагается разработка регламентов для проектирования, ТЭО и проектная документация.
3	Реагентная очистка сточных вод высоко эффективным окислителем, дезинфектантом и коагулянтом «фернел» на основе феррита натрия. (Разработчик ООО УПЕК, рук. Халемский А.М.)	Реагент заменяет соединения хлора, марганца и других окислителей в технологиях очистки сточных и питьевых вод. Предлагаемая технология обеспечивает обеззараживание коммунальных бытовых стоков, удаление пестицидов, концентрирование радионуклидов в твердой фазе, обезвреживание балластных стоков судов и др. Удаление сульфидов, сероводорода, аммиака, тиомочевины и др. соединений из сточных вод кожевенного и текстильного производств, целлюлозно-бумажных комбинатов.	Поставка реагентов на постоянной основе. Расход реагента рассчитывается из характеристик обеззараженного раствора
4	Биологическая очистка хозяйственно-бытовых стоков по малоотходной технологии «УПЕК» (Разработчик ООО УПЕК, рук. Халемский А.М.)	Автоматизированный процесс очистки коммунальных стоков без накопления избыточного ила. Обеспечивает снижение эксплуатационных и капитальных затрат. Очистка стоков до норм сброса в водоемы рыбохозяйственного назначения.	Построено более 30 очистных сооружений (г. Н.Тагил – 15 тыс.м <sup>3</sup> /сут., г. В.Пышма – 2 очереди по 20 тыс.м <sup>3</sup> /сут. и др.) (ООО УПЕК реализует объекты от проекта до пуска-наладки.)
5	Комплексные очистные сооружения поверхностных сточных вод подземного исполнения (Разработчик ООО УПЕК, рук.	Очистка дождевых, талых вод от нефтепродуктов, песка, грязи, глины, ПАВ для сброса в канализацию. Установка подземного исполнения	Компания производит проектирование и подбор оборудования (срок исполнения 4-7 недель).

	Халемский А.М.)	марки SOR.11 (0,5-100 дм <sup>3</sup> /сек) включают пескоуловитель, коалесцентный сепаратор, сорбционный фильтр.	
6	Обезмасливание железосодержащих шламов с использованием гидродинамической кавитации (Разработчик ООО Уралмеханобр, рук. Газалеева Г.И.)	Методом роторно-импульсной обработки замасленных (до 6 %) шламов обеспечено выделение железосодержащего (63,8% Fe) концентрата с остаточным содержанием масла 0,3 %.	Процесс испытан на ОАО ММК.
7	Флотационное доизвлечение меди из медленно охлажденных шлаков переработки медно-цинковых концентратов (Разработчик ОАО Уралмеханобр, ОАО СУМЗ, рук. Газалеева Г.И.)	Для извлечения меди использован способ медленного охлаждения шлаков с последующим их измельчением и флотацией. Выделен качественный концентрат и хвосты флотации с 0,3 % Cu. Остается не решенной проблема использования хвостов флотации, накапливаемых в отвалах.	Процесс реализован на ОАО СУМЗ для переработки шлаков автогенной плавки концентратов в печи Ванюкова.
8	Технология термической и кристаллохимической стабилизации шлаков для эффективной работы дробильно-сортировочных комплексов (Разработчик ОАО УИМ, рук. Смирнов Л.А.)	Разработаны методы стабилизации шлака, обеспечивающие не только отделение и использование металлической составляющей, но и оксидной - в качестве щебня, песка для нужд предприятий стройиндустрии, а также закладки горных выработок. Обеспечена переработка шлаков сталеплавильных и ферросплавных производств.	Предлагаются технические решения и предпроектная документация под конкретные шлаки.
9	Переработка жидких шлаков в установке барабанного типа с шаровой нагрузкой. (Разработчик ОАО УИМ, рук. Смирнов Л.А.)	Технология обеспечивает утилизацию тепла шлаков, стабилизацию требуемого фазового состава. После магнитной сепарации, выделяемыми продуктами являются металлизированный железный концентрат и щебень, песок, пригодные для использования в строительстве или закладке горных выработок.	Технология используется на ряде предприятий, напр., «Биостил» (КНР). ЦНИИЦМ им.И.П. Бардина и ОАО Уралгипромет разработаны принципиальные модели и конструкции установки.
10	Безреагентная электрохимическая технология переработки минеральных сливов хвостохранилищ и технологических вод обогатительных фабрик (ВИПКОН РАН, рук. Чантурия В.А.)	Технология исключает использование хлора для обеззараживания загрязненных растворов используются менее вредные растворы гипохлорита.	Разработана схема и регламент получения гипохлоритных растворов из сливов ОФ Мирнинского ГОКа и их использования в схеме обеззараживания сточных вод г.Мирный.
11	Флотационная подготовка хвостов обогатительных фабрик перед их использованием при закладке горных выработок (ВИПКОН	Применительно к Талнахской ОФ предложена технология флотации хвостов, обеспечивающая выделение МПГ и серы в концентрат за	Проведены лабораторные испытания.

	РАН, рук. Чантурия В.А.)	счет оригинального сочетания реагентов. Хвосты флотации применимы для закладки горных выработок.	
12	Создание энергометаллургических комплексов для переработки техногенных отходов (ФГУП ЦНИИЧМ, рук. Косырев К.Л.)	Предложена схема, обеспечивающая полную утилизацию тепла при переработке техногенных отходов в дуговых электропечах. Предложение адаптировано к переработке металлолома и предварительно восстановленного железорудного сырья.	Техническое предложение с предварительными расчетами.
13	Окислительно-сульфатизирующий обжиг как основа переработки золото мышьяксодержащего некондиционного сырья. (ХМИ им. Абишева Ж., рук. Исабаев С.М.)	Обоснован двухстадийный обжиг сырья с выделением сульфида мышьяка на первой стадии (деарсенирующий обжиг). Драгоценные металлы извлекают из огарка второй стадии методами цианирования. Мышьяк переведен в товарный продукт – антисептик, для покраски судов, создания термопластичных покрытий на трубопроводах и конструкциях эксплуатируемых в биоагрессивных средах.	Технология внедрена на ОАО Якутзолото, на ЗИФ КНР и проверена в опытно-промышленном масштабе на Барыкчинском ГМК.
14	Использование отвальных шлаков в качестве флюса и теплового агента при конвертировании штейнов (АО ЦНЗМО, рук. Кожухметов С.М.)	Проведена оценка флюсующей способности техногенных отходов черной металлургии для процессов цветной металлургии, связанных с ошлакованием оксидов железа.	Предложение частично используется на предприятиях РФ. Например, для повышения содержания оксида кальция в шлаке плавки медно-цинковых концентратов на ОАО СУМЗ применяют высокоосновный сталеплавильный шлак.
15	Переработка красных шламов производства глинозема с выделением иттрия и оксидного продукта – коагулянта (ИХТТ УрО РАН, рук. Яценко С.П.)	Гидрохимическая технология обеспечивающая выделение РЗМ и алюможелезистого коагулянта. Технология предусматривает использование соляной кислоты для выщелачивания шлама.	Масштабы технологии определяются объемом востребованного коагулянта. Предполагается, что уровень сбыта РЗМ не ограничен. Процесс испытан в лабораторном масштабе.
16	Технология переработки красных шламов, обеспечивающая их переработку с извлечением железа. (ОАО УАЗ, ИМЕТ УрО РАН, Уралмеханобр, ИХТТ УрО РАН, ОАО РУСАЛ, рук. Леонтьев Л.И.)	Технология включает стадии извлечения скандия, обезщелочивания шлама, обогащение по железу, окускование совместно с рудным сырьем и плавку в электропечи на чугуи и глиноземистый шлак.	Основные процессы технологии отработаны в опытно – промышленном масштабе.
17	Утилизация ТБО в производстве цемента (НПК Механобр-техника, рук. Михайлов Н.В.)	Калорийность ТБО (до 15-20 МДж/кг) позволяет заменить часть энергоносителя при производстве цемента.	Испытания на одном из цементных заводов Ленинградской области дали положительные результаты.
18	Переработка цинксодержащей пыли сталеплавильных	Определены некоторые показатели процесса.	Требуется проведение испытаний, сооружение опытной установки,

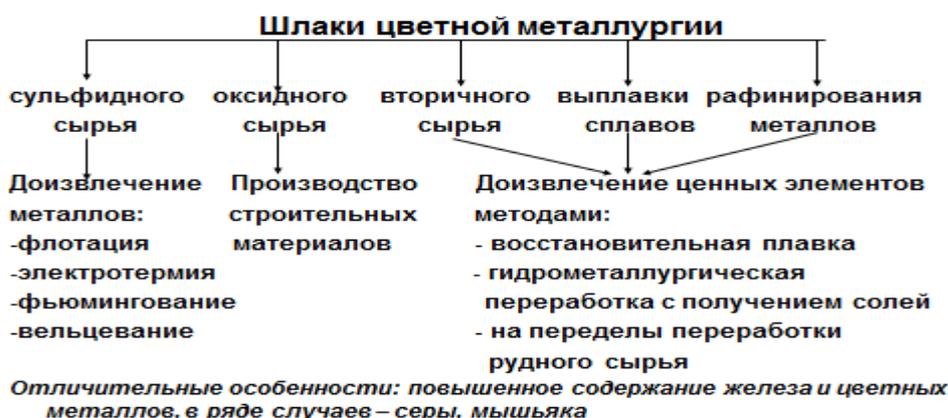
	производств в кольцевой печи (ЦНИИМ им. И.П.Бардина, ОАО УИМ, рук. Кобелев В.А.)		уточнение параметров окускования сырья, режимов термообработки, утилизации газов и т.д. За рубежом в Республике Корея реализован пилотный проект завода KRP компании ZincOx, обеспечивающий безотходную переработку пыли (выше 20% цинка) в печи с вращающимся подом. Товарными продуктами производства являются брикетированный железосодержащий металлизированный материал и концентрат оксида цинка. Расход электроэнергии составляет 195 кВт/ч и газа 50 м3, против 230 и 15 в процессе вельцевания.
19	Комплексная переработка алюминий содержащих отходов с получением глинозема, коагулянтов и стройматериалов (ИМЕТ РАН, рук. Лайнер Ю.А.)	Предложены гидрометаллургические технологии переработки красных шламов, зол ТЭЦ, отработанных катализаторов и литейных шлаков.	Совместно с ВАМИ проведены опытно – промышленные испытания процессов, выданы исходные данные на создание опытно – промышленного производства на ОАО Николаевский глиноземный завод.
20	Технология производства углеминеральных брикетов из угольных шламов (Инновационный Евразийский университет, рук. Ибраев И.К.)	Технология включает сушку дисперсных угольных шламов, смешение со связующим – продуктом крекинга, формование углеминеральных брикетов.	Проведены модельные испытания. Разработана технологическая схема для АО АрселорМиттал Темиртау.
21	Технология производства цемента, бетонных смесей, пористых заполнителей и керамического кирпича из зол ТЭС (УРФУ им.Б.Н.Ельцина, рук. Ф.Л. Капустин)	Методами подбора составов и оценки свойств изделий разработаны составы шихт и режимы их обработки для получения цемента и других изделий из золы ТЭС.	Процессы испытаны на ЗАО «Невьянский цементник», ЗАО «Афина» (производство кирпича)
22	Переработка серпентинитовых отходов производства асбеста (ОАО Русский магний, рук. Овчинникова Н.Б.)	Разработана гидрометаллургическая технология, включающая стадии солянокислотного растворения сырья с последующим выделением хлорида магния, никелевого концентрата, диоксида кремния высокой чистоты, железосодержащего концентрата.	Накоплено до 4,5 млн.т отходов на комбинате ОАО «Ураласбест».Технология опробована на укрупненной установке, определены основные показатели. Создан проект завода, но строительство остановлено. Рентабельность производства достигается лишь при реализации всех выделяемых продуктов. Следует отметить, что, помимо хлорида магния и никелевого концентрата, сбыт остальных продуктов весьма ограничен. Снижение объемов переработки до масштабов реализации этих продуктов ведет к экономической нецелесообразности проекта.
23	Технология переработки цинксодержащих металлургических отходов с извлечением цинка, меди, свинца, олова (ОАО ЧЗЦЗ, рук. Козлов П.А.)	Реализована в промышленном масштабе технология переработки пылей и шламов черной и цветной металлургии пирометаллургическим методом. Технология	Созданы теоретические основы процесса, разработано оборудование. Технология реализована в промышленном масштабе на ОАО ЧЗЦЗ, что позволило дополнительно производить 10 тыс. т цинка и 2-4

		включает стадии подготовки сырья двухстадийного вельцевания с выделением на каждой стадии продуктов, пригодных для переработки известными методами.	тыс, т меди ежегодно.
24	Технология комплексной переработки марганцовистых ванадийсодержащих шлаков (ИМЕТ УрО РАН, рук. Халезов Б.Д.)	Предложена пирогидрохимическая технология переработки конвертерных ванадийсодержащих шлаков НТМК. Технология предусматривает окислительный обжиг шлака, содовое выщелачивание с выделением марганцовистого продукта и осаждение ванадатов с последующей их трансформацией в оксид ванадия высокой чистоты.	Процесс испытан в лабораторном масштабе, предложен для реализации на ОАО ВСМПО – Ависма.
25	Использование сталеплавильных шлаков в вагранке при выплавке чугуна (Инновационный Евразийский университет РК, рук. Ибраев И.К.)	Использование высокоосновных шлаков для частичной замены известняка при производстве чугуна. Недостаток процесса – повышение содержания фосфора в чугуне.	Технология использована на АО «АрселорМиттал Темиртау» при выплавке литейного чугуна с положительным экономическим эффектом (заменено 50% известняка).
26	Технология переработки мелкодисперсных железосодержащих отходов (ОАО «Новолипецкий МК», рук. Курунов И.Ф.)	Дисперсные отходы совместно с железорудным сырьем и восстановителем подвергаются окускованию методом вакуумной экструзии с получением брэксов. Брэксы подвергаются термической обработке с получением оксида цинка и обожженного материала. Возможна работа доменной печи на 100% шихты из брэксов.	Технология используется на ОАО НЛМК. Производство брэксов повторяет ранее испытанный процесс брикетирования, однако использование новой высокопроизводительной и экономичной техники по способу вакуумной экструзии позволило добиться требуемого качества брэксов, в сочетании с известными преимуществами брикетирования.
27	Выплавка ферросиликоалюминия из некондиционных бокситов и техногенных отходов электроэнергетики и металлургии (ЦНИИЧМ им.И.П.Бардина, рук. Букин А.И.)	Обоснована технология, включающая окускование шихты и ее плавку в электропечи переменного тока с получением ферросиликоалюминия. Процесс рекомендован для переработки зол ГРЭС, шлаков алюминотермической выплавки феррохрома, ферротитана, феррониобия, а также Североонежских бокситов марки ГБ. Шлаки испытаны для производства портландцемента.	Разработана комплексная схема переработки глиноземистых техногенных отходов и некондиционных бокситов в рудно-термической печи. Масштаб испытаний – укрупнено лабораторный (одноэлектродная печь 100 кВт).
28	Разработка экономически эффективного способа переработки фосфогипса (ОАО СУМЗ, рук. Нечаев И.Ю.)	Технология включает кислотное выщелачивание РЗМ, сорбцию ценных металлов из раствора, десорбцию РЗМ, конверсию ионита и осаждение карбонатов РЗМ. Экономичность процесса достигается только при	Технология испытана в укрупненном масштабе с получением концентрата РЗМ. В настоящее время в РФ нет промышленной технологии разделения РЗМ из такого вида концентратов.

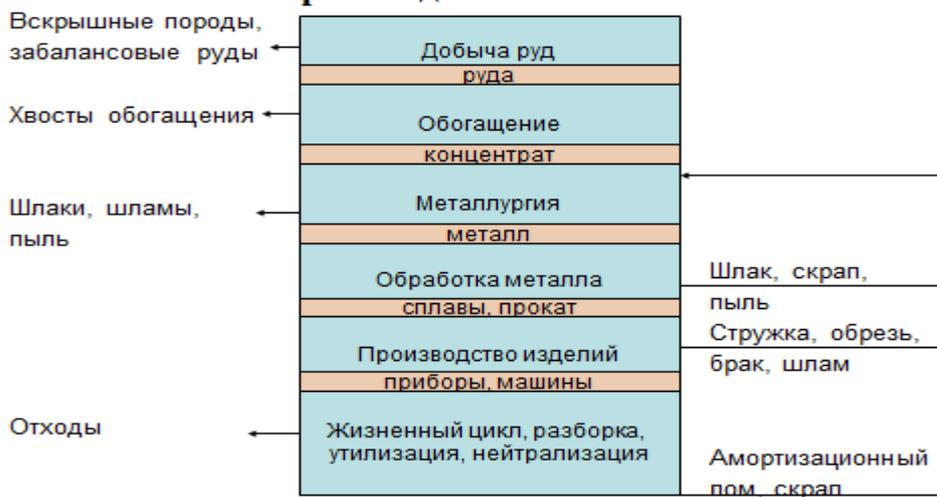
		трансформации основной массы фосфогипса в товарный продукт. Для этого предложено производить гипсовое вяжущее или гипсовый камень методом температурно-временной обработки фосфогипса.	

Складывается парадоксальная ситуация, когда: РФ имеет огромные запасы ценных руд, проводит их разведку, но не координирует совершенствование технологий на предприятиях в плане повышения комплексности использования сырья и извлечения сопутствующих металлов; снижение экологического ущерба от деятельности предприятий цветной металлургии полностью возложено на собственников, которые решают задачи в пределах известных технологий; государство выделяет средства на мониторинг окружающей среды в районах деятельности предприятий, в то время как решение экологических проблем лежит в первую очередь в инновационных технологиях; миллионы тонн отходов заскладировано на поверхности, они имеют определенную ценность, но исследования в направлении их использования практически прекращены.

## Направления использования металлургических шлаков



## Техногенные отходы и оборотные продукты в производстве металлов



## Масштабы образования отходов

Металл	Вскрышные породы*	Хвосты обогащения	Шлаки	Шламы
1т стали	7	<b>6</b>	0,35	0,05
1т алюминия	3	-	-	<b>4</b>
1т меди	8	<b>60</b>	8	0,20
1т никеля (из о.н.р.)	100	-	<b>100</b>	-
1т никеля (из сульф. руды)	15	<b>45</b>	6	-
1т золота	100000	<b>480000</b>	20000	-

\* - коэффициент вскрыши принят равным 1 при открытой разработке месторождений и 0,2 – закрытой

\*\* - содержание в рудах: железной - 30% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; бокситах - 50 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; медной - 1,5 Cu; окисленной никелевой - 1,0 Ni; сульфидной никелевой - 2,0% Ni; золотосодержащей - 2г/т Au

Мы с Вами живем в интересное время, когда ветер перемен коснулся даже наиболее «консервативных», базовых отраслей промышленности, к которым относится металлургия. Металлургия, как искусство, основывается на таких науках как – химия, физика, математика, экономика и их подразделов - физической химии, механике жидкости и газа, аэро- и гидродинамике, теплотехнике, сопротивлении материалов, электрохимии и др. Поэтому до недавнего времени научное обеспечение и сопровождение отрасли осуществлялось десятками профильных институтов. Только в одном г.Екатеринбурге таких организаций насчитывалось до сотни, что позволяло горно-металлургическому комплексу эффективно функционировать и занимать лидирующие позиции по всем переделам, касающимся разведки месторождений, добычи и обогащения руд, металлургическое переработки концентратов, обработки металлов и выпуска большой номенклатуры товарной продукции.

Конечно, деятельность предприятий была не «безгрешна», происходило накопление отходов производств (вскрышные породы, хвосты обогащения, шлаки, шламы), были высоки выбросы вредных веществ в атмосферу (CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> и др.), медленно происходило оснащение предприятий современным оборудованием. Однако, тому были свои причины, касающиеся не столько нежелание руководителей отрасли проводить инновационное развитие производства, сколько необходимостью направления средств на другие нужды государства. Тем не менее горно-металлургический комплекс занимал передовые позиции как по большинству используемых технологий, так и качеству выпускаемой продукции.

Стратегической целью научных исследований по развитию физико-химических основ сульфидного сырья являются экологически безопасные технологии комплексной переработки руд и концентратов. Для достижения поставленной цели ИМЕТ УрО РАН выполняет исследования по:

- разработке технологии переработки хвостов обогащения руд с выделением штейна, концентрирующего цветные и драгоценные металлы и алюмо-кальциевого шлака для производства высокоглиноземистого цемента;

- изучению процесса термоэкстракционного извлечения цветных металлов из сульфидных расплавов, исключая образование сернистого ангидрида при переработке никельсодержащих пирротиновых руд и концентратов;
- созданию технологии переработки оксидных никелевых руд Урала с получением ферроникеля, исключая использование пиритсодержащего сульфидизатора в технологическом процессе;
- разработке технологии электрохимической переработки сульфидных полупродуктов производства – фанштейнов, позволяющей выделить металлы в виде порошков и перевести серу в элементное состояние;
- гидрометаллургической переработке руд цветных металлов с использованием кучного и подземного выщелачивания.

Горно-металлургические предприятия оказывают существенное влияние на среду обитания в связи с газовыми выбросами от технологических устройств, складированием и хранением твердых отходов производств, загрязнением воды стоками очистных сооружений. Именно на этих предприятиях происходит образование большого количества парниковых ( $\text{CO}_2$ ) и вредных ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{CO}$  и др.) газов, формирование техногенных отходов (вскрышные породы, шлаки, шламы и пыли), а также загрязнение воды. В настоящее время практически на каждом предприятии, а также регионах в целом, осуществляется экологический мониторинг окружающей среды, выявление объемов и составов вредных продуктов производств, оценка их вредного воздействия на окружающую среду.

В ретроспективе 50 лет можно констатировать, что металлургические заводы в корне изменили подходы к своей деятельности.

**Сера.** На зарубежных предприятиях, напр., ТЭС, газы подвергают очистке от  $\text{SO}_2$  путем обработки растворами гидроксида кальция, аммиака и др. реагентов, обеспечивающих снижение содержания вредных примесей до значений ПДК. Отечественные ТЭС, а также предприятия черной металлургии такие газоочистные сооружения не используют. Наиболее ярким примером, сопряженным с выбросами в атмосферу огромных количеств  $\text{SO}_2$  безусловно является ЗАО ПФ Норильский никель, 3 завода которого выбрасывают в атмосферу до 1 млн. т серы в виде сернистого ангидрида. Большое количество сернистых газов образуется на предприятиях цветной металлургии, перерабатывающих сульфидные руды и концентраты (СУМЗ, Святогор, Медногорский МК, Кировградский МК), а также использующих пиритные концентраты в качестве сульфидизатора при переработке окисленных руд (Уфалейникель, Режникель)

Выбрасываемый в атмосферу сернистый ангидрид оказывает значительное влияние на формирование климата на планете. Сернистый ангидрид, как трехатомный газ, обладает экранирующими свойствами по отношению к ультрафиолетовым лучам. Известно, что похолоданию на планете, произошедшему 20 млн. лет тому назад, предшествовало извержение вулкана ....., сопровождавшееся единовременным выбросом в атмосферу свыше 600 тыс. т сернистого ангидрида.

**Мышьяк.** Исходное содержание мышьяка в вовлекаемых в переработку уральских сульфидных рудах составляет сотые доли процента, а запольных – тысячные доли процента. Поэтому проблема его утилизации важна в первую очередь для предприятий Урала. На переделе обогащения руд мышьяк распределяется между концентратом и хвостами обогащения, в первом приближении можно принять - пропорционально сере. Хранение хвостов обогащения в шламохранилищах сопряжено с окислением (воздух) халькогенидов, выщелачиванием соединений серы и мышьяка (атмосферные осадки) и образованием токсичных растворов, требующих нейтрализации. Мышьяк, поступающий на пирометаллургические переделы, в связи с особенностями свойств образующихся соединений, концентрируется в пылях и шламах систем очистки газов. Часть мышьяка попадает в серноокислотное производство и снижает качество получаемой кислоты. Для утилизации мышьяксодержащей пыли предложено множество процессов, обеспечивающих разделение цветных металлов и вредных примесей, перевод мышьяка в малотоксичные соединения (арсенат кальция, сульфид мышьяка, арсенид железа), которые подлежат захоронению.

**Ртуть.** Можно принять, что на обогатительном переделе ртуть распределяется пропорционально сульфидам. В ходе пирометаллургической переработки, в связи с низкими температурами разложения всех ртутьсодержащих минералов и соединений, высокой упругостью паров, следует ожидать полный переход ртути в газ, охлаждение которого сопряжено с ее конденсацией в газоходном тракте. Имея в виду точку кипения ртути (630 К) можно ожидать ее конденсацию после электрофильтров, т.к. режим работы последнего находится выше точки росы сернистых газов. Поэтому ртуть будет концентрироваться в шламах промывного отделения сернокислотного производства. Разовыми анализами шламов установлено содержание ртути до 2%. В этой связи шламы промывного отделения представляют большую опасность в сравнении с другими видами отходов.

Оксиды углерода

**Оксиды азота.** Образование оксидов азота в газах сопряжено с широким распространением электротермических процессов, когда в низкотемпературную плазму электрической дуги попадает воздух. Согласно термодинамическим данным, отрицательные значения энергии Гиббса для реакций образования NO и NO<sub>2</sub> их азота и кислорода имеют место выше температур ... и ... , соответственно. Естественно, большее количество этих газов образуется в дуговых печах по переработке металлического лома и меньшее – производстве ферросплавов из рудного сырья (дуговые разряды закрыты слоем шлака). Переход на новые режимы плавки сырья, напр., на вспененном шлаке, позволяет не только экономить электроэнергию, но и добиваться снижения содержания оксидов азота в отходящих газах.

Найти примеры. Привести расчет энергии Гиббса.

**Экотоксиканты.** Обращать внимание на образование экотоксикантов в ходе пирометаллургической переработки руд стали относительно недавно.

Рассеивание в ходе переработки руд.

**Хлор, фтор.**

**Сопутствующие не извлекаемые металлы.** Большинство металлургических предприятий сооружалось под определенные типы руд, предпочтительно мономинеральных. Реализованные технологические схемы предусматривают извлечение тех металлов и производство тех продуктов, рентабельность производства которых не вызывает сомнений. Однако в рудах присутствуют и другие металлы, извлечение которых ранее было экономически не целесообразно по причинам: малых содержаний и невозможности концентрирования в каких либо полупродуктах, удобных для последующей переработки; не востребуемости или насыщенности рынка по получаемым металлам. Так изменения объемов потребления селена и ртути, основная масса которого производится из сульфидных руд, связаны с переходом на новые типы выпрямителей и множительной техники. Производство антисептиков, связаны с практически полным прекращением антисептической обработки древесины. Изменения в потреблении мышьяка, основную массу которого ранее использовали в проиесины.

Малые количества таких металлов как W, Mo, Re, V, Ge и др. не извлекают из сульфидных руд по причине низкой технико-экономической эффективности предложенных процессов и технологий.

**Дисперсные материалы** (хвосты обогащения, шламы, пыли). По степени дисперсности отходы можно разделить на пылящие и не пылящие. Последние представлены фракциями крупности не подверженными переходу в пыль в сухом виде при скорости воздушного потока до 20 м/с. Другим параметром, определяющим потенциальную вредность дисперсных материалов является их «плавучесть», как способность растекаться при насыщении водой. Это свойство материала (отходов), определяющим параметром которого является угол естественного откоса при изменении влажности, оказывает влияние на параметры дамб, возводимых для хранения отходов. По указанным параметрам шламы гидromеталлургических переделов, имеющие крупность частиц менее 10 мкм, представляют собой большую опасность и требуют принятия специальных мер (рекультивация) в сравнении с хвостами

обогащения (крупность 64 мкм), гранулированными шлаками (3-10 мм) и тем более с кусковыми шлаками (5-200 мм).

Кроме того дисперсные материалы, как отходы производства, содержат некоторое количество извлекаемых металлов и серы, что ведет к отнесению их к определенной группе опасности.

В отличие от кусковых, дисперсные материалы обладают весьма развитой удельной поверхностью, что способствует протеканию химических взаимодействий с окружающей средой. В первую очередь это относится к реакциям окисления элементов на воздухе, сульфатообразованию, гидратации и карбонизации соединений.

До настоящего времени основным способом утилизации дисперсных отходов является их использование при закладке горных (шахтных и карьерных) выработок.

**Переработка вторичного сырья.** В последнее время все больше внимания уделяется созданию машин и оборудования обладающих уникальными свойствами. Это сопряжено с использованием высоколегированных металлов, композиционных материалов. В результате возникает ситуация, когда образуется относительно небольшое количество отходов в процессе производства машин и амортизационный лом – после длительной эксплуатации изделий. Утилизацию таких материалов можно вести как путем создания отдельных технологий переработки, так и переработкой в действующих металлургических циклах. В последнем варианте в товарную продукцию будут извлечены лишь металлы, обеспеченные действующей технологией. При этом, извлечение металлов может совсем не отвечать нормам, принятым для рудного или ранее утилизируемого вторичного сырья. В большинстве случаев предполагаются как полные потери некоторых металлов, так и снижение извлечения основного компонента.

Другим вариантом, претендующим на комплексную переработку отходов, является создание самостоятельной технологической схемы. Но и в этом случае нельзя утверждать об эффективности технологии, т.к. ее необходимо создать, что требует времени на экспериментальные исследования, технико-экономическое обоснование, создание аппаратуры и внедрение технологии. В этом случае возникают риски, связанные с поставкой вторичного сырья, которая может прерваться в связи с прекращением выпуска изделий, невозможностью достижения высоких показателей, существенно

#### Литература

1. Иванов Ф.И., Кожевников Г.Н., Ситдииков Ф.Г., Иванова Л.П. Комплексная переработка бокситов. Екатеринбург: УрО РАН, 2003, 180 с.
2. Козлов П.А. Освоение процессов рецилинга техногенных отходов металлургического производства // Цветная металлургия, 2014, 2, с. 45-52.
3. Селиванов Е.Н., Аксенов В.И., Кляйн С.Э., Ничкова И.И. Обработка стоков и утилизация шламов металлургических предприятий. Екатеринбург, ООО УИПЦ, 2014, 80 с.
4. Перепелицын В.А., Рытвин В.М., Гильвар С.И. и др. Ферросплавные алюминотермические шлаки. Екатеринбург, Уральский рабочий, 2014, 368 с.
5. Селиванов Е.Н., Чумарев В.М. Базовые направления утилизации отходов горно-металлургического комплекса// Цветная металлургия, 2015, 5, с.
6. Копылов Н.И. Проблемы мышьяксодержащих отвалов. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2012, 182 с.
7. Зырянов В.В., Зырянов Д.В. Зола уноса – техногенное сырье. М.: ИПЦ «Маска». 2009, 320 с.
8. Зайцев А.К., Леонтьев Л.И., Юсфин Ю.С. Анализ формирования экотоксикантов в термических процессах. Екатеринбург: Институт металлургии УрО РАН, 1997, 84с.
9. Смирнов Л.А.,

Для каждого из элементов можно привести схему распределения: газ (выбросы в атмосферу), штейн (или его доработка до металла), шлак(остаточные содержания серы, мышьяка, других примесей), пыль(как

концентрат вредных примесей – кадмий, мышьяк, другие), шламы сернокислотного производства – ртуть, сурьма)