

**ПОЛУЧЕНИЕ КОНЕЧНЫХ РЕДКОМЕТАЛЛЬНЫХ ПРОДУКТОВ
ИЗ ПРИРОДНОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ
С ПРИМЕНЕНИЕМ ИННОВАЦИОННЫХ ПИРОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
В КАЧЕСТВЕ АЛЬТЕРНАТИВЫ ТРАДИЦИОННОМУ ОБОГАЩЕНИЮ**

Мелентьев Г. Б.

ОИВТ РАН, Москва

Изыскания инновационных способов переработки минерального сырья, как природного, так и техногенного, в настоящее время приобретают особую актуальность в связи с назревшей необходимостью технического обновления в России базового сырьевого сектора экономики, который во всем мире и особенно в нашей стране представляет собой главный источник обеспечения материальных потребностей населения.

В нашей стране, с одной стороны, произошло естественное истощение запасов многих эксплуатируемых месторождений и значительное сокращение возможностей обнаружения новых, промышленно значимых, на дневной поверхности. С другой стороны, сформировался обширный резерв разведанных в СССР крупных рудных месторождений, остающихся десятилетиями (более 50 лет) невостребованными государством и бизнесом, в том числе – в связи со сложившейся технологической отсталостью в традиционных способах добычи, обогащения и переделов минерального сырья, не обеспечи-

вающих необходимую экономическую эффективность и экологичность производств.

За рубежом, в отличие от России, разрабатываются и внедряются *прямые способы глубокой переработки сырья*, включая такое объемное как железорудное, широко практикуется комплексное извлечение полезных компонентов как ручной рудоразборкой, так и высокотехнологичными способами с применением комбинированных и каскадных технологических схем, наконец, осуществляется экологизация рассматриваемых производств, в результате которой повышается их конкурентоспособность, а «отходы» в законодательном порядке оцениваются и используются как возобновляемое техногенное сырье.

С этих позиций наиболее перспективными представляются *термохимические инновации* в переработке рудного и нерудного, а также органоминерального сырья с извлечением особо ценных – редких, благородных и ряда цветных металлов, среди которых многие являются токсичными и даже – суперэкоотоксикантами (Be, Cd, Tl и др.). Необходимость устранения последних

как сопутствующих микрокомпонентов из традиционных процессов переработки сырья, обусловленная требованиями экологической безопасности производств, представляет собой сложную, нередко практически не решаемую задачу.

Выполненный нами ранее сравнительный анализ специфики гидрохимических и термохимических методов глубокой переработки различного минерального сырья, включая редкометалльные руды, концентраты и отходы обогащения, свидетельствует о целом ряде преимуществ термохимии – компактное оборудование, короткие схемы, отсутствие жидких сбросов, требующих нейтрализации, и т. д. [1]. В настоящей публикации рассматриваются и оцениваются с инновационных позиций перспективные направления в использовании термохимических методов применительно к задачам прямой переработки различных видов природного и техногенного сырья, содержащего особо ценные, прежде всего, редкие металлы и токсичные элементы-примеси.

Возрождение и развитие редкометалльных производств – стратегические задачи импортозамещения

В России в условиях почти 30-летнего «переходного периода» сложилась парадоксальная ситуация. С одной стороны, невостребованность промышленностью разведанных месторождений редкометалльного сырья и накопленных техногенных образований, содержащих практически интересные содержания редких металлов. С другой стороны, очевидная обеспеченность запасами и ресурсами редкометалльного сырья, сопоставимыми по масштабам и, в меньшей степени, доступности и качеству с зарубежными эталонами. Как результат – сложившаяся в той или иной степени зависимость российских производств конечных редкометалльных продуктов (минеральных, химических, металлургических) от импорта. Исключением являются ванадий и германий, частично – тантал, ниобий, РЗМ цериевой группы. Наша страна в сравнении с ведущими промышленно-развитыми странами мира и, прежде всего, США и Японией, не обеспеченными многими видами собственного редкометалльного сырья, также превратилась в их импортера, несмотря на наличие необходимых запасов и ресурсов. В начале XXI века и IV мировой промышленной революции Россия потребляет в 5–10 раз

меньше, чем эти страны, Li, TR, Zr, в 10–15 раз меньше Ta и Sr, в сотни раз – Re, In, Hf, Sc и т. д. При мировом лидерстве в протяженности нефтегазопроводов потребление нашей страной феррониобия – главного легирующего компонента ТБД и других стальных конструкций, в десятки раз уступает в объемах его производства Бразилией, которая в течение 2-х десятилетий монополизировала его производство и экспорт. В настоящее время единственным эксплуатируемым месторождением Ta, Nb, TR, Ti в России остается Ловозеро, а их производителем – Соликамский металлургический завод (СМЗ), производства которых сравнительно с советским периодом сократились более чем в 2 раза и нуждаются в технической модернизации [2, 3].

Применительно к переработке минерального сырья промышленно-развитые зарубежные страны с начала 80-х годов прошлого столетия ориентируются на *прямые физико-химические способы*: пиро- и электрометаллургические, различные гидро- и электрохимические, биохимические. При этом практикуется их оптимальное *комбинирование* друг с другом и с предварительным обогащением природного сырья традиционными физико-механическими способами, которые достигли предела своих возможностей или оказались непригодными для труднообогатимых и бедных видов сырья. За рубежом налажено серийное производство необходимого обогачительно-передельного оборудования, как правило, в *модульном* и, в случае необходимости, *мобильном* исполнении, что позволило создать *сеть мини-заводов*, преобладающих не только в цветной, но и черной металлургии.

Соответственно, в дальнем и ближнем зарубежье созданы и развиваются крупнотоннажные производства редкометалльной продукции *полного технологического цикла* (добыча, обогащение, переделы) непосредственно в районах добычи исходного сырья: литиевой – из сподуменовых пегматитов в Канаде, США, Зимбабве, Австралии, Китае и из рапы – в Чили, Боливии, Аргентине; редкоземельной – в Китае; феррониобиевой – в Бразилии, Китае, Канаде и т. д. Широко практикуется получение сопутствующей особо ценной редкометалльной продукции: цезия и рубидия из литиевого сырья (минеральные и химические концентраты), тантала из шлаков оловоплавильных заводов, рения – из меднорудного сырья и т. д.

Приоритеты термо- и пирохимических инноваций в получении конечной редкометалльной продукции из «упорного» и нетрадиционного сырья

Многолетние авторские минералого-геохимические и экспериментальные физико-химические исследования свидетельствуют о преимуществах технологических способов и схем получения из различных видов редкометалльно специализированного сырья в качестве *конечных продуктов* не минеральной, а *химической* и металлургической продукции. Эта концепция и результаты поисковых технологических изысканий позволяет ориентироваться при переработке минерального сырья, не поддающегося обогащению традиционными методами, и особенно техногенных образований, как правило, тонкодисперсных и обогащенных особо ценными и токсичными микрокомпонентами, на применение физико-химических методов. Среди последних предпочтительными представляются термо- и пирохимические, обладающие относительно гидрохимических целым рядом преимуществ глубокой переработки «упорного» сырья: компактностью оборудования и технологических схем, отсутствием объемных жидких сбросов, требующих нейтрализации, и т. д.

Как известно, для пирометаллургических производств характерно селективное накопление и распределение рассеянных редких металлов (Re, In, Ge, Bi и др.) и экологически лимитируемых компонентов (As, Cd, Hg, Pb, Tl и др.) в различных промпродуктах и отходах передельных производств в количествах, достаточных для их извлечения на предприятиях цветной металлургии: *рений* – до 15–300 мг/м³ в растворах газоочистки при обжиге медных концентратов и 500 г/т – в пылях свинцового производства, *германия* – до 1–5 кг/т в пылях медеплавильных и кеках цинковых производств, *индия* – до 90–500 г/м³ в растворах и 1–2 кг/т в осадках при гидрометаллургической переработке пылей и возгонов цинка и свинца; *кадмия* – до 20–50 кг/т в пылях свинцового и медного производств; *таллия* – до 100–600 г/м³ в растворах выщелачивания пылей агломерации, плавки и фьюмингования свинцового производства и до 50–70 кг/т в дроссах рафинирования черного кадмия и т. д.

В настоящем докладе рассматриваются и оцениваются с инновационных позиций 3 перспективных направления в использовании термо- и пирохимических методов применительно

к задачам прямой переработки различных видов природного и техногенного сырья, содержащего особо ценные, прежде всего, редкие металлы и токсичные элементы-примеси.

1. *Ликвационная плавка* рудной шихты, флюсованной избыточными компонентами, обеспечивающая избирательное концентрирование в несмешивающихся жидких фазах (слоях) расплавов наиболее ценных профилирующих и сопутствующих компонентов с одновременным устранением лимитируемых. С 80-х годов прошлого столетия в ИМГРЭ, ГИГХСе и ОИВТ РАН экспериментально доказана эффективность применения ликвационной плавки в решении следующих технологических задач: 1) разделения на фосфатные и силикатные несмешивающиеся фазы (слои) плава апатито-нефелиновых руд с соответствующим избирательным распределением и концентрированием в них редких земель, стронция и естественных радионуклидов; 2) извлечения титана и ванадия из коллективных эгириново-сфено-титаномagnetитовых концентратов тех же руд; 3) доизвлечения вольфрама из отходов обогащения вольфрамитовых руд с попутным извлечением в сосуществующие жидкие фазы (слои) Ta и Nb, Bi и Ag; 4) избирательного извлечения в несмешивающиеся жидкие фазы (слои) ниобия и фосфора из коры выветривания карбонатитов; 5) то же – ниобия и редких земель с фосфором и радионуклидами из кор выветривания карбонатитов (рис. 1) [4–8].

В последнем случае полученные результаты рекомендуется использовать в процессе создания промышленной технологии глубокой переработки разведанных на СЗ Республики Саха-Якутия высококомплексных и богатых руд Томтора. Эти руды, согласно результатам проведенных различными институтами многочисленных лабораторно-технологических исследований, не обогащаются традиционными методами, но в то же время характеризуются аномально высокими содержаниями средне-тяжелых РЗМ, ниобия и скандия, что позволяет оценивать их как особо ценные *природные концентраты* редких металлов. Гидрометаллургическая схема глубокой переработки руды, принятая за базовую на стадии подсчета запасов, вызывает много вопросов относительно перспектив ее промышленного использования, т. к. предполагает сушку коровой руды на месте ее добычи в условиях сезонной обводненности месторождения, сложную и затратную схему ее транспортировки

на перерабатывающее предприятие (ХМЗ), которое еще предстоит построить на юге Сибири, и, наконец, необходимость создания систем обращения с промстоками на руднике и ХМЗ, включающих технологии их обезвреживания и использования. С использованием технологической схемы, включающей ливационную плавку и разрабатываемой в ОИВТ РАН, могут быть решены следующие актуальные

задачи: 1) переработка добываемого сырья на месте с получением плавящихся концентратов; 2) исключение необходимости обращения с промстоками, неизбежными при гидрометаллургической переработке руды; 3) использование воздушного транспорта для доставки компактных редкометалльных промпродуктов на предприятие-производитель конечной химико-металлургической продукции.

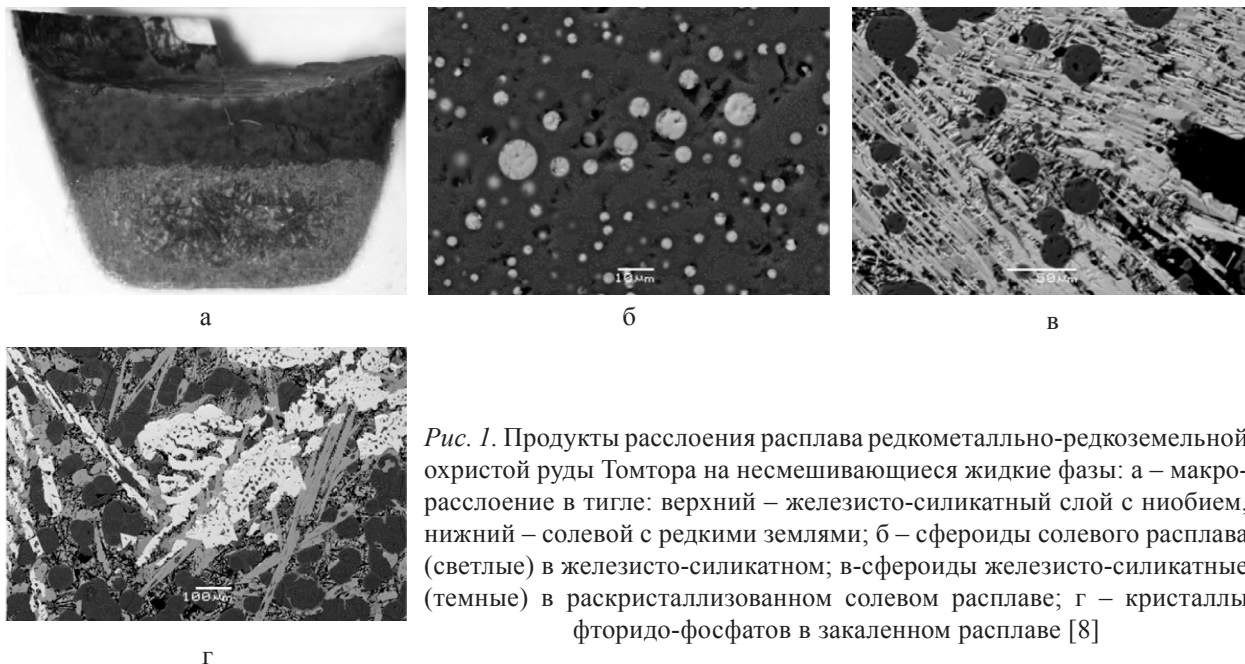


Рис. 1. Продукты расслоения расплава редкометалльно-редкоземельной окисной руды Томтора на несмешивающиеся жидкие фазы: а – макро-расслоение в тигле: верхний – железисто-силикатный слой с ниобием, нижний – солевой с редкими землями; б – сфероиды солевого расплава (светлые) в железисто-силикатном; в-сфероиды железисто-силикатные (темные) в раскристаллизованном солевом расплаве; г – кристаллы фторидо-фосфатов в закаленном расплаве [8]

Механизм ливационной плавки в перспективе рассматривается автором как ключевой в создании геотехнологических систем дистанционно-подземной добычи рудного сырья и имитационно-металлургических при выводе продуктивных магм на дневную поверхность.

Брикети́рование природного топливно-энергетического (торфа, угля, нефтекокса), «бедного» металлорудного сырья, а также соответствующих техногенных образований при их глубокой переработке оценивается с современных позиций полного технологического цикла как механо-термохимический метод предварительного обогащения. Кроме бедного и дисперсного сырья черной металлургии (Fe, Cr, Mn), включая шламы, пыль, окалину, пиритные огарки и другие отходы производства, брикетирование может использоваться и в цветной металлургии не только в целях обогащения особо ценными профилирующими металлами, но и для удаления из шихты технологически и экологически лимитируемых компонентов. Приготовление брикетируемой в восстановительных условиях шихты-агломерата включает

приготовление смеси рудных концентратов, флюсов и твердого топлива (например, коксовой мелочи – до 6–7% масс.).

В качестве примера может рассматриваться детально изученный механизм брикетирования титаномагнетитового сырья в целях выделения расплавленных обособлений (корольков) и слитков железа в титановом шлаке в процессе твердожидкофазного восстановления рудугольных брикетов [9]. Необходимость разделения железа и титана обусловлена лимитируемым при доменной плавке содержанием в железорудной шихте оксидов титана до 1–2%. При более высоких содержаниях оксиды титана восстанавливаются с образованием *карбидов*, которые образуют с металлом и шлаком «гренали» – неплавкие массы, нарушающие доменный процесс.

Восстановление титаново-железорудных брикетов осуществляется на непроницаемом углеродистом поде газоплазменной печи с использованием в качестве восстановителя некоксуемых углей. Целевые продукты брикетирования представлены гранулами чугуна (от 60% общего

железа в титаномagnetите), в то время как шлаки формируются пустой породой, флюсами (известняком) и связующими. При температурах 1200–1450 °С на 10–12 минуте восстановления брикетов последовательно образуются корольки металла, вплоть до слияния в монометалльную каплю (слиток) в центре шлакового кольца с содержанием 18% TiO_2 (рис. 2). При извлечении железа в целевой продукт 96–98% и титана до 0,04–0,06% в металле происходит накопление сопутствующего ванадия до 0,28% при извлечении 80% [9]. Таким образом, изученный концентрат титаномagnetита и рафинированный от титана плав железа представляют собой товарные продукты, причем последний – легированный ванадием.



Рис. 2. Продукты восстановления рудоголовных титаномagnetитовых брикетов (2,2% TiO_2): в центре – плав железа, обособленный в титановом шлаке. Видеокادر тепловизора Pyrovision M900 фирмы Micron, США [10]

Брикетиrowание рудного сырья и отходов его переработки является эффективным и даже единственно верным решением проблемы расширения ассортимента вовлекаемых в металлургическую переработку ресурсов, повышения качества конечной металлопродукции и внедрения техноэкологических инноваций. Процессы агломерации и производства окатышей в свое время вытеснили первоначально принятые в черной металлургии способы окускования и брикетирования железорудной мелочи. Однако, в последние годы процесс брикетирования реабилитируется и получает развитие как в черной, так и цветной металлургии благодаря расширению фронта физико-химических поисковых НИР и НИОКР, а также совершенствованию высоко-

производительного прессового оборудования. Эффективность брикетирования обусловлена безобжиговым способом окускования рудного материала, возможностями получения брикетов любого состава с заданными технологическими свойствами, невысокими температурами процесса и отсутствием отходов, т. е. большей экологичностью сравнительно с традиционными металлургическими способами подготовки шихты и переработки рудного сырья. Большое технологическое-экономическое значение имеет также существенное расширение сырьевой базы металлургии за счет вовлечения в процессы брикетирования неиспользуемого природного сырья и техногенных ресурсов: 1) сидеритовых руд Бакальского (с запасами 1 млрд т) и других месторождений, при переработке которых обжигово-magnetным способом получают высококачественный концентрат (50% железа), полностью разрушаемый при транспортировке с образованием пылевидной фракции; исследованиями фирмы «Феррокс» (Екатеринбург) и ЧелябинНИИМ'а доказана возможность устранения этого недостатка брикетированием исходного сырья; 2) охристых бурых железняков Халиловского, Алапаевского, Зигазино-Комаровского месторождений на Урале и Тульского, Липецкого в ЦФО, которые практически не используются в связи с затруднениями их рудоподготовки агломерацией и окатывани-ем; их запасы в спецотвалах достигают 20 млн т, а возможности промышленного использования также связаны с брикетированием; 3) за счет ввода в состав брикетов углеродсодержащих материалов, согласно исследованиям ИГМ (Украина), обеспечивается экономия кокса до 300–350 кг/т выплавленного чугуна и повышение производительности на 25–30%; такие брикеты могут эффективно использоваться при выплавке стали в электродуговых печах вместо чугуна и металлолома; 4) железосодержащих отходов металлургических производств – пылей и шламов газоочисток доменных и сталеплавильных цехов, железной окалины переделных заводов и т. д.

Разработки Магнитогорского ТГУ свидетельствуют о возможностях и перспективах «холодного» (низкотемпературного) прессования брикетов с использованием в качестве связующих извести и отходов коксофтехимии. Эта технология с использованием штемпельных и вальцевых прессов позволяет брикетировать некондиционную рудную мелочь и концентраты, порошки, пыли и шламы газоочистки,

угольную и коксовую мелочь при получении шихтовых брикетов для производства чугуна, стали и ферросплавов. Брикеты отличаются повышенной открытой пористостью порядка 30 % вместо 17 % у агломерата, 20 % – железной руды и 25 % – у окатышей. Они влаго- и термостойки как в окислительной, так и восстановительной среде, не разрушаются при $T=500\text{--}600\text{ }^{\circ}\text{C}$. Вальцевые прессы отечественного производства изготавливаются на уральских заводах.

Очевидно, что процессы брикетирования не ограничиваются механо- и термообработкой исходного сырья и могут получить развитие в сфере более глубокого физико-химического (пиролизного, плазменного и др.) воздействия на шихту. Это открывает новые возможности получения композитных материалов с заранее заданными свойствами и, соответственно, новые перспективы развития техноэкологии, технологической минералогии и материаловедения.

2. *Плазмохимические методы* прямого восстановления железа из железорудного сырья с получением традиционной металлопродукции – чугуна и стали, ферросплавов и соединений тугоплавких редких металлов, активирования рудных растворов, обеспечивающего извлечение из них благородных и цветных металлов, термopодготовки традиционного твердого топлива для повышения эффективности углесжигания и переработки альтернативного энергохимического сырья с извлечением редких металлов.

Плазмохимические методы в переработке сырья получили развитие в конце 50-х – начале 60-х годов в связи с разработками в СССР, США, Японии, Германии плазменных генераторов – дуговых и индукционных плазмотронов. Преимущества этого направления в технологии переработки вторичных металлов и порошковой металлургии оказались перспективными и для глубокой переработки ручного сырья благодаря высоким температурам, обеспечивающим термическую диссоциацию в низкотемпературной (менее $10000\text{ }^{\circ}\text{C}$) плазме тугоплавких оксидов и других соединений рудных компонентов, их ионизацию и испарение в соответствии с индивидуальными физическими и физико-химическими параметрами [11].

В ИМЕТ РАН им. А. А. Байкова создана лабораторная установка для получения из железорудного сырья чугуна и стали с использованием технологии плазменного энергометаллургического комплекса [12]. Установка обеспечивает

получение синтез-газа ($\text{H}_2 + \text{CO}$), который направляется в металлургический блок в качестве восстановителя и в энергетический – для выработки электрической и тепловой энергии.

Согласно расчетам авторов проекта, количество синтез-газа (50% H_2 и 50% CO), подаваемого в металлургический блок, должно составить 1,2 т для выплавки 1 т стали, а угля в газификатор – около 2 т на тонну стали. По всем схемам ее себестоимость (100–250 долл/т) будет значительно ниже достигнутых мировых уровней. Известно, что железорудное сырье содержит значительное количество различных минеральных примесей, среди которых преобладают сульфидная и фосфатная фракции, концентрирующие, соответственно, серу и фосфор как основные лимитируемые компоненты производств чугуна и стали.

Как правило, при обогащении руд сульфидная фракция сбрасывается в хвосты, хотя в ряде случаев она обогащена золотом (Костомукша) и платиноидами (КМА), а также особо ценными цветными и редкими металлами. Очевидно, что их совокупность может представлять интерес для сопутствующего извлечения. В то же время повышенные содержания в железорудном сырье Ti, Nb, Ta, TR, Zr, Sr и других редких металлов позволяют оценивать его соответствующие разновидности в качестве природнолегированных и получать за счет их прямых переделов микролегированные чугуны и стали.

Специфика модификаций плазмотронов и плазменно-дуговых электропечей позволяет прогнозировать в перспективе возможности избирательного получения из железорудного сырья как профилирующих чугуна и стали, так и сопутствующих особо ценных компонентов с устранением из технологического процесса и конечной продукции лимитируемых элементов-примесей. При этом лимитируемые компоненты (S, P, C и др.) полностью устраняются из целевой металлопродукции, а различия в температурах плавления, упругости пара, поверхностного натяжения, плотности и других параметров полезных компонентов исходного сырья обеспечивают принципиальную возможность их разделения и селективной концентрации. Возможности регулирования плазмохимического процесса, включая полную автоматизацию, обеспечиваются и конструктивными особенностями плазмотронов, в т. ч. подключением к печам установок вакуумной дистилляции. Они позволяют осуществлять процесс оптимальной ионизации компонентов

шихты в заданных интервалах температур, скорости подачи исходной шихты и ионизированной газовой струи в магнитных полях с добавками компонентов-катализаторов [13].

Все это позволяет получать в плазменных реакторах различной емкости (до 10–30 т для высококачественной стали) не только рафинированные металлы, но и легированные редкими элементами стали, ферросплавы и другие материалы специального назначения, например карбиды Zr, Hf, Ta и др. В ОИВТ РАН совместно с НПО «Композит» и ООО «ЦЭТ» в 90-х годах создана универсальная плазменно-металлургическая установка (ПМУ) и усовершенствована система непрерывной подачи в ЭДП высокодисперсных порошков металлов и оксидов различного фракционного и физико-химического состава в область плазменного потока при сохранении стабильности работы установки. Разработана конструкция технологической ЭДП мощностью 30 кВт для плазменно-металлургических процессов, включая сфероидизацию и напыление композиционных порошковых материалов – тугоплавких металлов, оксидов, карбидов, силицидов и боридов. Испарением исходного материала в плазме с последующей конденсацией можно получать ультрадисперсные порошки с размерами частиц ≥ 10 нм.

За рубежом, по данным ОКБ ОИВТ РАН (1974 г.), для плавления или термовозгонки таких тугоплавких оксидов как ZrO_2 , MgO , Al_2O_3 , SiO_2 и некоторых двойных оксидов типа шпинелей разработаны конструкционные модификации вращающихся плазменно-дуговых печей. Плав формируется в глазурированном тигле, помещенном в полости центральной оси печи, где концентрируется плазменный пучок, играющий роль газового резистора. Исходный рыхлый и спекшийся материал размещается между тиглем и оболочкой из нержавеющей стали. Емкость таких печей варьирует в пределах 16–50 л жидкофазной массы, что позволяет оценивать их как пилотные и полупромышленные [13].

Для извлечения *благородных и цветных металлов* из упорных и бедных руд в ЗАО «Техносистема-ЭКО» (гг. Москва – Днепропетровск) разработана экспериментальная технология их выщелачивания с использованием активированной плазмой воды и нетоксичных химических реагентов. Активирование воды или водного раствора плазмой (АПВ) заключается в направленном изменении их структуры в направлениях уменьшения

размеров кластеров, модифицирования ряда физических и химических характеристик до требуемых параметров и изменения энергетического состояния системы. Испытания технологии извлечения золота с применением АПВ и аминокомплекса вместо традиционной и высокотоксичной технологии цианирования проведены на 3-х золоторудных месторождениях США и Австралии с содержаниями 1,83–82 г/т Au, включая мышьяковистые формы концентраций золота с содержаниями арсенопирита и скородита в руде до 20%: при этом размеры частиц руды не превышали 2 мм. В России и Узбекистане испытания проведены на рудах с содержаниями 34,66–44,6 г/т Au и 79,2–24,5 г/т Ag при степени дисперсности руд 0,3 мм. Для российского техногенного сырья – фэйнштейна и отходов медеплавильного производств получены положительные результаты с применением технологии АПВ по извлечению палладия и доизвлечению меди. Извлечение Au, Ag, Pd, Cu во всех случаях составило порядка 99%. Таким образом, плазмохимическое активирование воды и водных растворов с применением экологически безопасных реагентов, по мнению авторов этой технологии, может заменить или использоваться в нем, причем с увеличением скорости выщелачивания золота в 50 раз и повышением эффективности его извлечения. Эта технология в модульном исполнении может быть использована в качестве «врезки» в действующих схемах золотодобычи, а также для нейтрализации циановых растворов [13].

В качестве примера получения РЗМ приводится использование плазмохимического способа при переработке красноуфимского монацита. Подготовка процесса включает операции вскрытия монацита в щелочно-карбонатной среде и выделение РЗМ в азотнокислом растворе. Конечный продукт получают в виде порошка SeO_2 высокотемпературным разложением водного раствора нитрата церия $Se(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$ в плазмотроне при мощности разряда 45 кВт и производительности 20 кг/час [14]. На кафедре технологии редких элементов и наноматериалов РХТУ им. Д. И. Менделеева создана установка для извлечения рения из горючих сланцев, состоящая из плазмотрона (2800 °C), циклона для улавливания пыли и адсорбера с насадкой. Достигнута концентрация рения в твердом продукте адсорбера до 94,2% с распределением в пыли циклона 8,89, нижнем слое (г/т) 3,16 и верхнем 0,50 [15].

3. *Пиролизные технологии* переработки традиционного органоминерального и альтернативного органолептического сырья с получением синтез-газа для тепло- и электроэнергетики, широкого ассортимента сопутствующих строительных и технических материалов, металло- и химической продукции, включая редкие металлы, и т. д. Варианты разработок этих технологий с использованием шахтных печей для переработки несортированных твердых коммунальных отходов (ТКО), низкосортных бурых углей и отходов переработки нефти и древесины, а также природных битумов нефтяного ряда, обогащенных редкими металлами, приведены в работах научных специалистов различных институтов РАН и РХТУ им. Д. И. Менделеева [16, 17].

В ОИВТ РАН в последнее десятилетие разработана и рекомендуется для внедрения технология высокоскоростного электропиролиза угля и несортированных твердых коммунальных и промышленных отходов. Согласно этой технологии скоростного электропиролиза ОИВТ РАН, процесс переработки указанных видов местного сырья, крайне актуальный для крупнейших в России урбанизированных агломераций – Московского региона, территории ЦФО, Поволжья и Ю. Урала, должен осуществляться в высокотемпературной шахтной печи (ВШП) доменного типа, снабженной стандартным комплексом обслуживающего оборудования (воздухонагреватели, воздуходувки, газоочистка и т. п.). Стабилизация температурного и газодинамического режимов процесса переработки обеспечивается послойной загрузкой в отходы природного органохимического сырья в виде низкосортного угля, не находящего спроса в других отраслях промышленности. Для предотвращения возможности получения в печи «коротких» шлаков, резко изменяющих вязкость при небольших колебаниях температур в печи, в шихту вводятся добавки известняка; при этом часть дутья, подаваемого в печь, может вводиться непосредственно в ванну жидкого металла в горне печи с применением в качестве топлива не кокса, а углей любых марок, в том числе, низкосортных. Этим достигается, при прочих равных условиях, повышение температуры жидких продуктов плавки на 300–500 °С и выравнивание температур по радиусу горна ВШП. Необходимо отметить, что в предложенной схеме при переработке ТКО в отходах, помимо угля, достаточно своих горючих компонентов. Используемый

в данном процессе уголь газифицируется как в обычных газогенераторах для получения газобразных видов топлива [18].

Разработанная в ОИВТ РАН технология обеспечивает переработку *несортированных* ТКО в процессе высокоскоростного пиролиза низкосортных углей с добавками (до 30 %) других органоминеральных и органохимических веществ (известняка, торфа и др.). Пиролиз осуществляется в высокотемпературных шахтных печах ВШП при $T = 1400\text{--}1700\text{ }^{\circ}\text{C}$ и более, разрушающих высокотоксичные диоксины и другие органотоксиканты. Производительность типового модуля порядка 10 т/час исходного сырья при длительности пиролиза 5–7 мин., в результате которого образуется горючий синтез-газ ($\text{H}_2 + \text{CO}$), обогащенный водородом до 60–65 % и зольный остаток (кокс). С газом из сырья удаляется до 40–50 % серы, а в зольном коксе концентрируются железо, алюминий, другие цветные и рассеянные редкие металлы, включая часть элементов-токсикантов.

Энерготехноэкологические проекты ОИВТ РАН предусматривают возможности эффективного производства, помимо горючего газа и кокса как энергоносителей, широкого ассортимента сопутствующей и побочной продукции за счет переработки в шахтных печах как остаточного кокса, так и ТКО с известью, включая получение клинкера и цемента, каменного литья, чугуна, строительных и технических материалов и изделий. Дополнительным сырьем для этих процессов служат местные природные и техногенные ресурсы: известняки, торф, отходы угледобычи и обогащения (терриконы), шлаки и нефтешламы, золы ТЭС и т. д.

Обогащение зольного кокса как одного из продуктов пиролизной переработки традиционного твердотопливного сырья тем или иным комплексом промышленно-ценных металлов – Fe, Mn, Ti, Al, другими цветными, благородными и редкими рассеянными элементами, определяемыми геохимической специализацией исходного сырья, позволяет оценивать его в качестве перспективного техногенного источника этих полезных компонентов. Извлечение металлов может осуществляться с применением ликвационной плавки шихты из металлизированного кокса и добавок-флюсов как агентов снижения температуры плавления и расслоения расплавов на несмешивающиеся жидкие фазы, т. е. плавленные концентраты тех или иных особо ценных и токсичных

компонентов. Специфика формирования их устойчивых ассоциаций в жидком состоянии, прежде всего, определяется изоморфизмом: с железом – титана, ванадия, ниобия, германия, скандия и других примесей, с алюминием – галлия, бериллия, с медью, свинцом и цинком – рения, золота, серебра, платины, кадмия, индия, таллия, селена, теллура, с кальцием – стронция, бария, радиоактивных элементов.

Повышенные концентрации цветных, благородных и редких металлов в *альтернативных видах* энергохимического сырья – горючих сланцах и тяжелых высоковязких нефтях (ТВН), нередко превышающие их содержания в традиционном рудном сырье, могут извлекаться в процессе пиролиза и фракционирования исходного сырья. Согласно исследованиям специалистов РХТУ им. Д. И. Менделеева, с применением этих технологий возможно извлечение в остаточные продукты (кокс, полукокс, бертинаты и др.) не только широко распространенных и извлекаемых из ТВН в Канаде и США ванадия и никеля, но и наиболее ценного рассеянного рения.

ТВН Венесуэлы содержат 1,5–22 кг/т пентоксида ванадия, с которым ассоциирует никель при содержаниях до 0,55–1,4 кг/т. Наиболее богаты этими металлами сернистые ТВН (мальты) Канады и стран Карибского бассейна. В Перу нефть месторождения Минас – Рагра содержит до 6% ванадия, образующего собственный минерал – патронит (VS_2). В США до 75% производства ванадия осуществляется извлечением его из нефти при содержаниях от 0,2 до 130,0 г/т, а в Канаде производят до 1660 т/год ванадия из кокса в процессе термокрекинга ТВН с исходным содержанием 2–3 кг/т (провинция Атабаска); оцениваются возможности извлечения из нефтяных песчаников галлия в комплексе с V, Sc, Mo, Ni. Компания США «Stractor» внедряет новую технологию получения ванадия до 9 тыс. т/год из отходов нефтепереработки [19].

В России наиболее богата ванадием и никелем ТВН Волго-Уральского бассейна (соответственно 800 и 300 г/т), в меньшей степени – Тимано-Печорского (150 и 310 г/т) и минимально – Западно-Печорского (60 и 40 г/т). В качестве минимально промышленного содержания для попутного извлечения ванадия принято считать 30 г/т, что сопоставимо по рентабельности с извлечением его из традиционного рудного сырья. Кокс из нефтяных битумов Республики Татарстан обогащен V, Ni, Fe, Cr, Mo, Re, Au, что заслужи-

вает специального изучения и оценки. Однако, наиболее обогащенными редкими, цветными, и, возможно, благородными металлами представляются гигантские ресурсы ТВН Баженовской свиты и других, в том числе – не разведанных пока месторождений прибрежной Арктической зоны на севере Республики Саха-Якутия.

Для извлечения редких металлов в РХТУ им. Д. И. Менделеева разработана и рекомендуется наиболее эффективная технологическая схема, которая включает деасфальтизацию исходного битумного сырья с получением асфальто-смолистого концентрата (АСК), его термообработку в присутствии окислителя при $T = 600\text{--}700\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выщелачивание, сорбционное извлечение из раствора.

С этих позиций очевидна целесообразность организации программной геохимической ревизии на редкие и другие ценные металлы, а также экологически лимитируемые микрокомпоненты эксплуатируемых и разведываемых нефтяных и газогидратных месторождений, а также продуктов их переработки (нефтешламов, термококса, водных сбросов и др.). Применительно к решению проблемы комплексного освоения давно разведанного Ярегского месторождения ТВН в Республике Коми, обогащенного Ti, V, Nb, TR, представляется целесообразным экспериментальное изучение эффективности использования пирохимических методов и, прежде всего, ликвационной плавки для разделения титана и кремния в лейкоксеновой шихте с флюсами. Как известно, процессы традиционного обогащения, и термохимия не позволили решить эту технологическую задачу в течение десятилетий, хотя нефть и титан в нашей стране оцениваются как сопоставимые по промышленной значимости полезные ископаемые и продукты.

**Развитие сопутствующих производств
рассеянных редких металлов на базе
действующих и новых предприятий ГПК
как фактор повышения эффективности
и экологизации горно-химико-
металлургических производств**

Принятое за рубежом и рекомендуемое нами для технической модернизации и инновационного развития промышленных производств в России интегрирование процессов добычи, обогащения и переделов сырья соответствует концепции кластерной организации производств на базе местных ресурсов, включая вовлечение

в промышленное использование накапливаемого и не используемого техногенного сырья. За рубежом использование последнего в качестве возобновляемого ресурса достигает 70–90%, в то время как в нашей стране эта проблема, за исключением единичных примеров, не решается десятилетиями.

Примерами получения из отходов обогащения товарных минеральных концентратов бадделеита и апатита является организация их сопутствующего производства ОАО «Ковдорский ГОК» Еврохима, специализированного на выпуск магнетитового продукта, а на АО «Уралэлектромедь» УГМК – эффективного извлечения из шламовых отходов передельного электролизного производства Cu, Au, Ag, In, Cd, содержащихся в исходных концентратах. Необходимо заметить, что бадделеитовые концентраты обогащены Hf, Ta, Sc и другими ценными микрокомпонентами, которые, в свою очередь, ждут промышленного извлечения, подобно TR, Sr, V и другим из хибинских минеральных концентратов, выпускаемых ОАО «Апатит» ФосАгро и СЗФК «Акрон» (табл. 1). Такая ситуация для этих предприятий и их владельцев представляется упущенной выгодой, а для государства – невосполнимыми потерями с экспортом и в отходах обогащения и переделов.

Детальные минералого-геохимические исследования, выполненные на ведущих предприятиях Кольского и Уральского ГПК применительно к повышению эффективности основных производств или организации сопутствующих, свидетельствуют о значительном, пока не востребованном редкометалльном потенциале накопленных техногенных ресурсов и текущих отходов производства, превосходящем учтенные запасы. Крупными, пока недооцененными источниками критически важных рассеянных редких металлов (Re, Os, In, Ge, Bi, Se, Te и др.), используемых ОПК и другими высокотехнологичными отраслями промышленных производств, являются медно-никелевые руды, эксплуатируемые предприятиями «ГМК Норникель» в Кольском и Норильском горнорудных регионах, и медно-цинковые руды Уральского региона, где высококомплексным отходом их переработки является пирит, а также накопленные ранее пиритные огарки [18, 20, 21]. В целом, содержания и ресурсы рассеянных редких металлов в отходах обогащения и особенно химико-металлургических переделов, а также в бурых углях и отходах

углесжигания достаточны для системной организации их извлечения с применением известных пирометаллургических и вышеуказанных инновационных технологий (табл. 2).

В целом, системное решение рассматриваемой проблемы воссоздания и развития в нашей стране производств рассматриваемой конечной продукции соответствует стратегической задаче редкометального импортозамещения.

При производстве 1 т меди из уральского сырья образуется от 30 до 100 т отходов обогащения (хвостов) и 1–8 т металлургических шлаков. Поликомпонентные анализы хвостов флотационного обогащения медно-цинковых руд, отобранных с нескольких уральских месторождений, свидетельствуют о существенно различных содержаниях в них как главных полезных компонентов – меди и цинка, так и сопутствующих микрокомпонентов (табл. 3). Обращают на себя внимание максимальные содержания меди и цинка в отобранных пробах хвостов обогащения руд с Сибайского и Юбилейного месторождений и более низкие – с Александринского и Майского месторождений. В то же время первые из них заметно обогащены Co, Mn, Ti, P, Zn, Y, а вторые – Pb, As, Ag, Bi, Sb, Tl. Содержания In, Ga, Ge, т. е. наиболее ценных рассеянных редких металлов среди выявленных 30 элементов в хвостах обеих групп месторождений сопоставимы друг с другом и невелики, т. к. в основном извлекаются из руд в составе сфалерита (Cd, In, Ga), халькопирита и минералов блеклых руд (Cd, Ge), а также пирита (Cd, Te). Приведенные данные заставляют обратить особое внимание на соответствие экологическим требованиям высоких содержаний мышьяка в товарной продукции во избежание рекламаций со стороны металлургов в случаях аномальных концентраций. Для этого элемента-суперэкоотоксиканта необходимо оперативное составление поминерального баланса распределения, что наиболее актуально для сырья новых месторождений и их горизонтов. Очевидно, что организация опережающего минералого-геохимического картирования рудных горизонтов на все особо ценные и токсичные микрокомпоненты до их отработки позволит осуществлять многоцелевое прогнозирование специфики поликомпонентного состава руд геологам, обогащателям и экономистам.

Тем самым появится возможность предупреждения потерь потенциально ценных «попутчиков» (Re, In, Bi и др.) и одновременно-негативных

экологических «сюрпризов», обусловленных, например, недопустимо высокими содержаниями элементов-суперэкоотоксикантов (As, Cd, Hg, Pb, Tl и др.) в сырье, поступающем на обогащение и переделы, и, соответственно, в выпускаемых товарных концентратах.

Согласно нашим исследованиям твердых и жидких промпродуктов ОАО «ГМК Североникель» на пробах ОТК предприятия (г. Мончегорск), выполненным в середине 90-х годов совместно с Л. М. Делицыным, были обнаружены повышенные концентрации в некоторых из них как недоизвлеченных Cu, Ni, Co (в шлаках электропечей, конвертерных пылях, промстоках и шлаках), так и особо ценных и токсичных «спутников» – Cd (420–500 г/т), Bi (300–400 г/т), Sb (280–300 г/т), Ge (50–100 г/т), Tl (50–100 г/т), In (10–100 г/т), а также As (8–11 г/т), Pb (1–10 г/т), Sn (180–1000 г/т), Mo (>300 г/т), W (>1 кг/т) – в конвертерных пылях и шлаках сернокислотной промывки, кроме того, оказались характерными высокие содержания Se, Te, Au, Ag (10–100 г/т) и платины (10 г/т). Более того, специалистами ИХТРЭМС КНЦ РАН (г. Апатиты) на том же предприятии разработана инновационная технология совместного извлечения рения, осмия и селена из промывной серной кислоты, содержащей 2–15 мг/л Re и 3–10 мг/л Os, и из сливов газоотходов (1–10 мг/л Re и 15–20 мг/л Os и 0.5–1.0 г/л Se). Однако, до сих пор этот заводской «Клондайк» рассеянных редких и благородных металлов не освоен предприятиями Кольской ГМК, входящей в корпорацию «Интеррос» – «Норникель».

С этих позиций специального внимания заслуживает проблема оценки извлекаемой ценности и экологичности рудообразующего складированного пирита, который не только является минералом-концентратором Fe, Cd, Au, но и других полезных и токсичных компонентов. Пришло время организовать изучение инновационных технологических возможностей и экономической целесообразности реализации складированных на Урале его запасов (50 млн т) в новых направлениях промышленного использования (вместо традиционного в СССР производства серной кислоты). В пиритных концентратах уральских медно-цинковых ГОКов, помимо золота и серебра, мышьяка и кадмия, установлены повышенные содержания In (9,5 г/т), Ga (8 г/т), Se (до 210 г/т), Te (43–63 г/т) и Tl (до 28–36 г/т), что превышает содержания

этих редких металлов в исходных рудах, медных и цинковых концентратах. Подобно обогащенным хвостам, *поликомпонентный* состав пирита, прежде всего, требует сравнительного минералого-геохимического изучения как в пределах отдельных месторождений, так и на пиритных складах и в хвостохранилищах, где он подвержен интенсивному воздействию агентов промстоков и гипергенеза.

В этих условиях окорудные зоны окисления выработанных рудников, как правило, обогащенных пиритом, представляются эпицентрами концентрации и распространения в пространстве экологически опасных очагов самовозгорания, образования сернокислотных сбросов и нарушений устойчивости бортов горных выработок, включая формирование техногенных кор выветривания и обрушений. Примерами такой экологически неблагоприятной ситуации в последнее время служат выработанный Сибайский карьер сульфидных руд и Коркинский – угольного сырья, оба глубиной до 0,5 км. Проблема их экологически безопасной рекультивации является технически сложной и безотлагательной, а затопление как наиболее оперативное и простое решение представляется усугубляющим и временно консервирующим геоэкологические риски, что подтверждают примеры ранее затопленных рудников (Дегтярского и др.). Эта проблема, к сожалению, пока остается за пределами внимания техноэкологической минералогии и геохимии [19, 22].

Системное возрождение и развитие в России редкометалльных производств должно быть ориентировано в соответствии с современными тенденциями и концепцией IV промышленной революции на создание в горнопромышленных регионах кластерных горно-химико-металлургических производств полного технологического цикла (добыча – обогащение – переделы), включающих автономные малые-средние горно-технологические предприятия (МГТП) как наиболее эффективные научно-производственные центры внедрения результатов завершенных поисково-технологических исследований. Особое значение в оценке на редкие металлы разведанных и разведываемых минеральных ресурсов, также включаемых в сферу промышленных интересов техногенных образований, должно принадлежать прикладной науке – в первую очередь технологической геохимии и минералогии.

Таблица 1

**Потенциальная продуктивность на сопутствующие редкие металлы и другие сопутствующие микрокомпоненты техногенных образований
Кольских горнопромышленных комплексов**

Типы сырья и регионы	Техногенные образования				
	Профилирующая продукция		Перспективные ресурсы		Сопутствующая продукция: освоенная рекомендуемая
	Обогатительная	Передельная	Минеральные концентраты	Особо ценные и лимитируемые компоненты	
Ловозерский ГОК	Лопаритовый концентрат	Ta, Nb, TR, Ti	Калишпатово-нефелиновые Пироксеновые (эгириновые и др.)	K, Na, Ga, Cs, Rb; Ti, V, Fe; флюс Th, U	Нефелин (с Ga, Cs, Rb) к.п.ш., эгирин; АККФ – АСР (флококоагулянт)
ОАО «Апатит» ФосАгро	Апатитовые концентраты (с TR, Sr, F, Th) Калишпатово-нефелиновые (с K, Ga, Cs, Rb)	Фосфатные минеральные удобрения Глинозем – алюминий, поташ, цемент, галлий	Калишпатово-нефелиновые Титаномангитовые (с ильменитом) Сфеновые Пироксеновые (эгирин и др.)	K, Na, Ga, Cs, Rb Ti, V Ti, Ta, Nb, TR, Sr, Th V, Ti, Fe; флюс	Глинозем – алюминий, поташ, сода, галлий, цемент АККФ – АСР (флококоагулянт) Реализуемая спорадически Ti-V-я химико-металлургическая продукция То же; обмозка электродов; ЛКМ
ОАО «СЗФК» АКРОН	Апатитовый концентрат с TR, Sr, F, Th	Фосфатные минеральные удобрения	– « –	– « –	Получение сопутствующих минеральных концентратов и извлечение из них РМ
Ковдорский ГОК Еврохим	Минеральные концентраты: магнетита апатита бадделеита (с Hf, Ta, Sc)	Чугун – сталь Фосфатные минеральные удобрения; цирконий	Апатитовые Бадделеитовые	Hf, Ta, Nb, Sc, TR, Th, U	Извлечение из бадделеитовых концентратов сопутствующих РМ

Таблица 2

Потенциальная продуктивность на рассеянные редкие металлы и другие ценные микрокомпоненты медно-сульфидного сырья Норильских, Колыских и Уральских горнопромышленных комплексов

Типы сырья и регионы	Профилирующая продукция		Техногенные образования				Применение и разработки новейших доступных технологий (НДТ)
			Перспективные ресурсы		Сопутствующая продукция освоенная рекомендуемая		
	Обогатительная	Передельная	Минеральные концентраты	Особо ценные и лимитируемые компоненты			
Медно-никелевое сырье ОАО «ГМК Норникель» Норильский и Колыский регионы	Сульфидные концентраты Cu и Ni	Медь Никель	Пирротиновые ?	Re, Os, Ge, In, Cd, Bi, Te, Sb, Tl; Pb, Sn, Mo, W; As; драгметаллы	Co, Se, Te; <u>драгметаллы</u> Re, Os, In, Ge, Bi, Cd, Tl, As	Традиционные пирро- и гидрометаллургические; НДТ ИХТРЭМС КНЦ РАН для извлечения РМ из промывной кислоты; возможно использование ликвационной плавки и флокоагулянта (ОИВТ РАН)	
Медно-цинковое сырье ОАО «Уральская ГМК» Южный Урал	Сульфидные концентраты Cu и Zn	Медь Цинк	Пиритовые Пиритные огарки	In, Cd, Re, Ge, Bi; Au, Ag, Tl, As, Hg; Fe	<u>Cu, Zn, Au, Ag; Fe, Re, Cd, Bi, Tl, As</u>	Традиционные пирро- и гидрометаллургические; возможно использование плазмохимии, ликвационной плавки и флокоагулянта для извлечения РМ и обезвреживания промстоков (ОИВТ РАН)	

Таблица 3

Полнкомпонентный состав хвостов обогащения уральских медно-сульфидных руд (г/т) [21]

Месторождение	№ пробы	Zn	Cu	Pb	As	Hg	Ag	Bi	Sb	Mo	Mn	Ti	V	Zr	Y	Sc	Ga	Ge	Tl	In	Be	Sn	W	Cr	Co	Ni	P	B	Ba	Li
Юбилейное	ХКФ-Ю хвосты коллективной флотации	>10000	4000	470	480	1.77	6.8	<1	6	19	350	2200	34	230	180	7	14	<1	2	<1	6	<1	<1	7.2	170	12	540	16	<100	23
	ХОФ-Ю хвосты основной флотации	>10000	8000	620	<10	4.07	<10	20	11	36	1900	1800	27	260	160	<3	13	4	3	<1	<1	4	8	3.2	200	27	640	13	<100	<20
Сибайское	ХКФ-С хвосты коллективной флотации	890	2100	160	400	0.55	5.3	<1	8	6.4	3800	2900	15	260	230	<3	13	<1	<1	<1	<1	4	10	2.3	320	11	670	17	<100	<20
	ХОФ-С хвосты основной флотации	>10000	>10000	160	<10	2.34	<10	5	21	6.3	1300	2300	7	280	>300	7	17	<1	<1	<1	3	11	15	1.9	490	14	1000	18	<100	35
Майское	ХФ-М хвосты флотации	4200	800	900	290	0.068	<10	5	10	21	430	950	46	110	33	<3	16	2	8	<1	<1	2	1	2.7	15	11	230	25	<100	<20
	ХОФ-М хвосты основной флотации	>10000	1600	950	990	0.3	<10	12	62	36	1100	1100	32	120	49	<3	21	3	13	<1	<1	12	2	7.1	69	22	250	19	<100	<20
Александринское	ХА хвосты флотации	6800	2200	470	700	0.13	7.5	16	6	9.1	680	1400	28	100	38	4	11	2	3	<1	<1	3	2	1.6	35	6.9	230	22	<100	<20

В современной России в условиях сложившегося сокращения государственного финансирования ГРР и научных организаций решение проблемы обеспечения высокотехнологичных отраслей промышленного производства редкими металлами осуществляется инициативными группами научных специалистов. При этом целевые инновационно-техноэкологические разработки сотрудников РАН, сделанные на лабораторном уровне, не находят внедренческого продолжения созданием пилотных и, тем более, опытно-промышленных установок из-за отсутствия необходимых средств. Более того, в условиях «переходного периода» во многих академических институтах были закрыты лаборатории экспериментальной минералогии и петрографии, которые «питали» новыми идеями химиков-технологов, а отраслевая наука, ответственная за внедрение технологических «ноу-хау» практически перестала этим заниматься или была ликвидирована [23].

Приведенные выше единичные примеры решения крупным частным горнопромышленным бизнесом задач извлечения особо ценных редкометалльных концентратов или рассеянных и экологически лимитируемых микрокомпонентов свидетельствуют о наличии пока неиспользуемого потенциала повышения как экономической эффективности, так и экологизации обогатительных и перерабатывающих производств ГПК. Однако, со стороны крупного бизнеса трудно ожидать развития инициатив и реализации креативных технических решений, рекомендуемых наукой, и, тем более, создания им внедренческих МГТП: предпочтение отдается крупнотоннажному товарному профилю, прос-

тым решениям и «коротким» деньгам с ориентацией на экспорт производимой продукции.

В сложившейся ситуации представляется необходимым проявление государственной политической воли и поддержки корпоративного взаимодействия науки и бизнеса, прежде всего, в составлении и выполнении соответствующей многоцелевой Программы, включая выделение необходимых финансовых средств и контроль за их реализацией в установленные сроки. Стартовое госбюджетное финансирование НИР и НИОКР, предусмотренных Программой, должно быть расширено за счет создания специального «Фонда развития» привлекаемыми действующими и новыми частными предприятиями с организацией частно-государственного партнерства. В этих целях представляется целесообразным и необходимым воссоздание Госкомитета по науке и технике (ГКНТ) при Президенте РФ и соподчиненного ему Координационного Совета (КС) по редким металлам из научных специалистов РАН, Министерств науки, высшего образования и природных ресурсов, госкорпорации «Ростех». Системная организация программно-целевых НИР и НИОКР, ориентированных на возрождение и развитие редкометалльных промышленных производств в нашей стране требует создания межведомственных и даже межрегиональных Проблемных лабораторий, деятельность которых должна быть скоординирована на государственном уровне и с ведущими предприятиями крупного бизнеса в соответствии со специализацией природного сырья и техногенных образований, ожидающих необходимой ресурсно-технологической оценки и ускоренного вовлечения в промышленное использование.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мелентьев Г. Б. Термохимические инновации в техноэкологии // Экология промышленного производства. М: ВИМИ, 2013. Вып. 2. Ч. 1. С. 81–89. Вып. 3. Ч. 2. С. 84–94.
2. Мелентьев Г. Б. Редкометалльное импортозамещение – стратегическая задача России // Сб. материалов международной научно-практической конф. «Актуальные вопросы получения и применения РЗМ и РМ – 2017». Москва, 21–22 июня 2017 г. М: ОАО «Институт «ГИНЦВЕТМЕТ». 2017. С. 19–35.
3. Мелентьев Г. Б. Перспективы обеспечения собственным редкометалльным сырьем и развития производств феррониобия в России // Материалы научно-практической конференции «Перспективы развития металлургии и машиностроения с использова-
- нием завершенных фундаментальных исследований и НИОКР: ФЕРРОСПЛАВЫ», 29 октября – 02 ноября 2018 г., ОХМН РАН – Институт металлургии УрО РАН. Екатеринбург: ИМЕТ УрО РАН, 2018. С. 104–110.
4. Мелентьев Б. Н., Делицын Л. М., Мелентьев Г. Б. Ликвация и ее значение в петрологии. Редкометалльные граниты и проблемы магматической дифференциации. Под ред. В. С. Коптева-Дворникова. М: Недра, 1972. С. 253–285.
5. Мелентьев Г. Б., Давыдов Н. Ф. Перспективы развития пирохимической технологии и связанных с ней минералого-геохимических исследований. Проблемы направленного изменения технологических и технических свойств минералов. Под ред. В. И. Ревнивцева. Л: Механобр, 1985. С. 17–34.

6. Мелентьев Г. Б., Делицын Л. М., Лебедева Г. Г. и др. Перспективы пирохимической переработки комплексного фосфатно-редкометалльного сырья // Редкие элементы в нетрадиционном сырье и перспективы их попутного производства. М: ИМГРЭ, 1987. С. 41–57.
7. Мелентьев Г. Б., Делицын Л. М. Расслоение (ликвация) редкометалльно специализированных расплавов природного сырья, продуктов и отходов его обогащения как инновационный способ избирательного концентрирования особо ценных и лимитируемых компонентов // Материалы Международной научно-практической конф. «Актуальные вопросы получения и применения РЗМ-2015», 25 июня 2015 г., Москва. М: ОАО «Институт Гинцветмет», 2015. С. 60–67.
8. Делицын Л. М., Мелентьев Г. Б., Толстов А. В., Магазина Л. А., Самонов А. Е. Технологические проблемы Томтора и их решение // Редкие Земли, 2016. № 2 (5). С. 164–179.
9. Мелентьев Г. Б., Короткий В. М. Брикетирование промышленных отходов как инновационный техноэкологический ресурс // Материалы V Всеросс. научн. конф. с международн. участием «Проблемы рационального использования природного и техногенного сырья Баренц-региона в технологии строительных и технических материалов», 12–15 ноября 2013 г., Апатиты, КНЦ РАН. Апатиты, ИХТРЭМС КНЦ РАН, 2013. С. 180–183.
10. Павлов А. В., Бут Е. А., Мустафин Р. М., Никитин А. В., Бабич И. Н. Повышение глубины переработки бедного железорудного сырья с использованием внедоменных бескоксовых технологий // Рациональное освоение недр, 2015. № 5–6. С. 83–92.
11. Низкотемпературная плазма. Плазменная металлургия. Новосибирск: Наука СО РАН, 1992. Т. 8. С. 265.
12. Цветков Ю. В., Николаев А. В., Николаев А. А., Кирпичев Д. Е. Производство стали по технологии плазменного энергометаллургического комплекса // Материалы конференции «Результаты фундаментальных исследований в области энергетики и их практическое значение», 24–26 марта 2008 г. М: ОИВТ РАН. С. 264–268.
13. Короткий В. М., Мелентьев Г. Б. Перспективы плазмохимии в энергетике и переработке минерального сырья // Доклады IV Международн. научн. конф. «Геоэкологические проблемы современности», 20–22 сентября 2012 г., Владимир, ВГУ. Владимир: ВГУ, 2012. С. 322–329.
14. Сосновский С. А., Скачков В. И., Обходская Е. В. Исследование плазмохимического способа обработки жидких сред при переработке техногенных образований // Труды Конгресса «Техноген – 2017: Фундаментальные исследования и прикладные разработки процессов переработки и утилизации техногенных образований», 5–9 июня 2017 г., Екатеринбург: УроРАН, 2017. С. 353–355.
15. Трошкина И. Д., Шилиев А. В., Абдрахманов Т. Г., Майборода А. Б. Рений в нетрадиционном сырье: распределение и возможности извлечения // Разведка и охрана недр, 2011. № 6. С. 87–90.
16. Леонтьев Л. И., Чесноков Ю. А. Экологически безопасная технология переработки бытовых и техногенных отходов с использованием пирометаллургических процессов // Труды Конгресса «Техноген – 2017: «Фундаментальные исследования и прикладные разработки процессов переработки и утилизации техногенных образований», 5–9 июня 2017 г., Екатеринбург: Уро РАН, 2017. С. 21–25.
17. Палант А. А., Трошкина И. Д., Чекмарев А. М., Костылев А. И. Технология рения. М: РХТУ, ИМЕТ, ОА «Радиовый ин-т» – М: ООО «Галлея-Принт, 2015. С. 329.
18. Техногенные ресурсы и инновации в техноэкологии // Сб. статей по материалам межрегиональных и межотраслевых симпозиумов 2005–2006 гг., ОИВТ РАН. Под ред. Е. М. Шелкова, Г. Б. Мелентьева. М: ОИВТ РАН, 2008. С. 352.
19. Мелентьев Г. Б. Инновационный энергохимический и горнопромышленный потенциал традиционных и альтернативных топливно-энергетических ресурсов Российского Севера // Сб. материалов VI Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы, направления и механизмы развития производительных сил Севера – 2018». 19–21 сентября 2018 г., Сыктывкар, ИСЭ и ЭП Севера Коми НЦ УрО РАН. Ч. 1. Сыктывкар, 2018. С. 35–49.
20. Мелентьев Г. Б. Инновационный потенциал техногенных ресурсов России и роль технологической геохимии в их изучении и оценке перспектив комплексного промышленного использования // Сб. статей IX Российского семинара по технологической минералогии «Технологическая минералогия природных и техногенных месторождений», 22–24 апреля 2014 г., Магнитогорск. Петрозаводск: Институт геологии Кар НЦ, 2015. С. 8–30.
21. Горбатова Е. А., Мелентьев Г. Б., Овчарова Е. С., Вдовина О. К., Емельяненко Е. А. Особо ценные и экологически лимитируемые компоненты в хвостах обогащения уральского меднорудного сырья // Сб. материалов межрегиональной юбилейной конференции ЮУр ГУ, ОИВТ РАН «Комплексное освоение и переработка техногенных образований с использованием инновационных технологий», 13–15 ноября 2013 г., г. Челябинск. С. 44–56.
22. Мелентьев Г. Б. Инновационная техноэкология и новые задачи технологической минералогии // Экология промышленного производства. М: ФГУП ВИМИ, вып. 2. С. 40–51; вып. 3. 2009. С. 13–29.
23. Мелентьев Г. Б. Проблемы поисковой и технологической минералогии редкометалльного сырья и их решения // Материалы Юбилейного съезда «200 лет РМО», 10–13 сентября 2017 г., С-Пб., 2017. Т. 2. С. 109–114.