

УДК 622.793:622.17

В. А. ЧАНТУРИЯ, А. П. КОЗЛОВ (ИПКОН РАН)

## РАЗВИТИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ОСНОВ И РАЗРАБОТКА ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ТЕХНОГЕННОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ\*



В. А. ЧАНТУРИЯ,  
академик РАН



А. П. КОЗЛОВ,  
зам. директора,  
д-р техн. наук

*В краткосрочной перспективе (2014–2020 гг.) определены приоритетные направления научных исследований в области развития физико-химических основ и разработки инновационных технологий глубокой переработки техногенного минерального сырья: обоснование эффективных технологических процессов извлечения ценных компонентов из отходов добычи и переработки полезных ископаемых; комбинирование физико-химических методов обогащения с химико-металлургическими; получение дополнительной готовой продукции из нерудной части отходов для вторичного использования; разработка стратегии мотивации утилизации горнопромышленных отходов.*

**Ключевые слова:** техногенные минеральное сырье, экология, инновационные технологии, комбинированные методы

Гигантские объемы отходов добычи и переработки полезных ископаемых, унаследованные Россией от экстенсивного и монопрофилированного недропользования в бывш. СССР, которые продолжают увеличиваться и в настоящее время, значительные концентрации в них особо ценных цветных, редких и благородных металлов, нередко превышающие балансовые содержания в природных рудах, и, наконец, наличие обширного, но пока невосребованного научного задела для создания отечественных высокоэффективных инновационных технологий их переработки, ориентируют на необходимость и возможность ускорения решения проблем комплексной оценки, капитализации и вовлечения в промышленное использование российского техногенного сырья. В отличие от природного, техногенное минеральное сырье представляет собой возобновляемый ресурс, не требующий затрат на извлечение из недр и первичную дезинтеграцию, которые обуславливают основные издержки современного горнопромышлен-

ного производства. Естественное истощение недр в традиционных горнодобывающих регионах страны определяет более чем двукратный спад производства на предприятиях горнопромышленного комплекса, при этом восполнение убывающих запасов многих видов сырья не обеспечивается необходимыми объемами геологоразведочных работ в условиях их значительного сокращения. Существенным аргументом в пользу интенсификации развития сырьевого сектора экономики за счет использования имеющихся техногенных ресурсов является необеспеченность России многими видами рудного сырья (марганец, хром, медь, цинк, свинец, сурьма, ртуть, редкие металлы и др.), основные месторождения которых в значительной степени были отработаны ранее или после распада СССР, как и соответствующие им производства, остались за пределами страны.

В качестве альтернативы сложившейся кризисной ситуации в горнопромышленном комплексе страны рассматриваются возможности и перспективы получения разнообразной металлической и нерудной продукции за счет организации комплексного освоения, глубокой переработки и использования техногенного минерального сырья. Суммарная ценность металлов, накопленных в горнопромышленных отходах России и извлекаемых технологически, по оценкам специалистов, в 4 раза превышает стоимость известных запасов в недрах, которые пока не используются [1]. Кроме того, использование (в промышленных масштабах) отходов добычи и переработки полезных ископаемых может обеспечить экологическую реабилитацию территорий, подверженных негативному воздействию объектов хозяйственной деятельности добывающей и горноперерабатывающей промышленности.

Формирование новых научных подходов к переработке и/или утилизации техногенного минерального сырья на основе технологических процессов, позволяющих эффективно и экономично снизить экологическую нагрузку на окружающую среду с дополнительным обеспечением современных потребностей страны в твердых полезных ископаемых и воде, определяет возможность проведения крупных государственных инновационных проектов, таких, как:

- техническое перевооружение горноперерабатывающей отрасли страны;
- повышение конкурентоспособности продукции и технологий отечественного минерально-сырьевого комплекса;

\* Работа выполнена при финансовой поддержке программы Президиума РАН ПП-27.

- решение региональных и федеральных экологических проблем за счет ликвидации последствий освоения минерально-сырьевой базы.

В краткосрочной перспективе (2014–2020 гг.) приоритетными направлениями развития научных исследований в данной области являются следующие [2]:

1. Обоснование и разработка эффективных технологических процессов извлечения ценных компонентов из отходов добычи и переработки полезных ископаемых.

2. Комбинирование физико-химических методов обогащения (гравитационного, флотационного и т. д.) с химико-металлургическими (пиро- и гидрометаллургическими, автоклавным выщелачиванием, электрохимическим и биологическим окислением) при переработке техногенного сырья.

3. Обоснование и разработка технологических процессов получения дополнительной готовой продукции из нерудной части отходов добычи и переработки с целью вторичного использования.

4. Разработка стратегии мотивации утилизации горнопромышленных отходов.

Для *первого приоритетного направления* основными критериями ожидаемого роста эффективности технологических процессов являются: формирование новых разделительных процессов, адаптивных к техногенному сырью, обеспечивающих интергранулярное разрушение и селективное извлечение ценных компонентов; увеличение экспрессности оценки технологических свойств техногенного минерального сырья; расширение возможностей количественных методов минералогического анализа, минералогической оценки физических, химических и механических свойств геоматериалов на наноуровне; рост качества прогноза обогатимости различных видов техногенного сырья; современное методическое и метрологическое обеспечение всех видов измерений и определений; повышение контрастности физико-химических свойств поверхности техногенных минералов с близкими технологическими свойствами и увеличение эффективности их разделения; создание новых технологий формирования массивов для выщелачивания, снижение агрессивности и повышение селективности выщелачивающих растворов.

Научные исследования следует сосредоточить в следующих основных направлениях:

- адаптация имеющихся процессов и аппаратов обогащения природных полезных ископаемых к техногенному сырью;
- комплексное изучение химического и фазового состава, строения и технологических свойств отходов добычи и переработки полезных ископаемых;
- разработка высокоэффективных, энергосберегающих методов и оборудования для интергранулярного разрушения горных пород;
- изучение возможности извлечения инертных (химически стойких) компонентов из отходов добычи и обогащения руд;
- выщелачивание отходов добычи и обогащения руд на месте их залегания или складирования;
- модифицирование технологических свойств ценных компонентов в техногенном минеральном сырье за счет энергетиче-

ских воздействий, электрохимической обработки, механоактивации и т. д.

Основными критериями роста эффективности переработки техногенного минерального сырья для *второго приоритетного направления* являются: обеспечение высокого сквозного извлечения ценных компонентов; максимальная комплексность использования сырья, содержащего минеральные агрегаты, которые невозможно разделить на минеральные фазы обогатительными процессами; высокая рентабельность производства при соответствии современным требованиям по энергоемкости, экологической безопасности и комплексности извлечения ценных компонентов.

Научные исследования следует сосредоточить в следующих основных направлениях:

- создание новых и совершенствование традиционных сорбционно-экстракционных технологий извлечения ценных компонентов из продуктивных растворов при переработке урановых и полиэлементных руд;
- разработка комбинированных экологически безопасных технологий чанового и кучного выщелачивания с применением автоклавов, электрохимического и биологического окисления;
- обоснование рациональных приемов получения коллективных концентратов и их вскрытия пирометаллургическими и гидрометаллургическими методами.

Среди основных критериев роста эффективности переработки техногенного минерального сырья для *третьего приоритетного направления* следует выделить: сокращение добычи нерудных полезных ископаемых в строительной индустрии; сокращение размеров горных отводов предприятий; сокращение объемов складочного материала; получение чистой и технологической воды; получение дополнительной товарной продукции.

Научные исследования следует сосредоточить в следующих основных направлениях:

- разработка технологий и условий утилизации отходов добычи руд, нерудных полезных ископаемых и углей в строительной индустрии;
- утилизация хвостов обогащения в составе складочных смесей при добыче полезных ископаемых;
- переработка и использование технологических вод и техногенного гидроминерального сырья.

Для *четвертого приоритетного направления* среди основных критериев роста эффективности переработки техногенного минерального сырья следует выделить: создание многотоннажных складов запасов для будущих поколений в горных выработках и полостях; существенное улучшение горнопромышленных ландшафтов и повышение их экологичности; получение дополнительных видов товарной продукции для смежных отраслей промышленности.

Научные исследования следует сосредоточить в следующих основных направлениях:

- каталогизация существующих отходов с описанием их полезности и (или) токсичности;
- создание складов запасов для будущих поколений в горных выработках и полостях;

- создание экологически пригодных горнопромышленных ландшафтов;
- подготовка техногенного сырья с учетом кондиций, требуемых в смежных отраслях промышленности.

В последние годы научные исследования ИПКОН РАН, направленные на разработку инновационных процессов и технологий переработки техногенного минерального сырья, включали изучение возможности [3]:

- применения аппаратов центробежно-ударного дробления с целью интенсификации процесса раскрытия зерен металлургических шлаков;
- применения энергетических методов воздействия с целью интенсификации процесса дезинтеграции и вскрытия тонкодисперсных минеральных комплексов при переработке отвальных сульфидсодержащих хвостов;
- использования нового класса флотационных реагентов для извлечения ценных компонентов из отвальных хвостов обогащения сульфидных медно-никелевых руд;
- применения электрохимической обработки подотвальных вод с целью интенсификации процесса кучного выщелачивания бедных и окисленных медно-цинковых руд;
- обеспечения полноты извлечения ценных компонентов и создания ресурсосовпроизводящих технологий с целью комплексной переработки гидротехногенного минерального сырья медноколчеданных месторождений;
- электрохимической переработки минерализованных вод обогатительных фабрик алмазодобывающих предприятий в растворы гипохлорита, предназначенные для обеззараживания хозяйственно-питьевых и сточных вод.

Объемы шлаковых отвалов, образовавшихся на крупнейших металлургических предприятиях страны, а также массовая доля ценных компонентов в шлаках подтверждают ресурсную ценность и практическую необходимость вовлечения их в эффективную переработку. В металлургической промышленности России ежегодно образуется более 95 млн т шлаков, в том числе около 79 млн т шлаков доменного, сталеплавильного, литейного и ферросплавного производств.

Шлаки, в отличие от руд, формируются в неравновесных условиях, и их фазовый состав существенно отличается от первичных руд. Минералогическими исследованиями в шлаках установлены сферические включения металлической фазы, покрытые по периферии реакционной каемкой, представленной цинковой шпинелью. Толщина каемки не превышает 150 мкм. Замещение в силикатном тетраэдре кремния на алюминий (имеющий больший ионный радиус) делает образовавшуюся фазу цинковой шпинели более хрупкой. Наличие реакционных каемок создает предпосылки для селективной дезинтеграции металлургических шлаков в аппаратах центробежно-ударного дробления, в которых разрушение происходит за счет различия прочностных свойств компонентов.

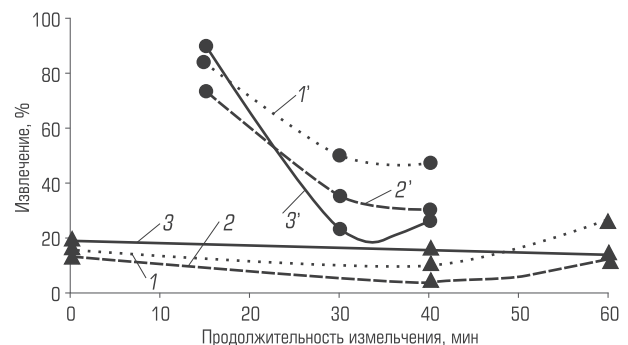
В ходе исследований оценены физико-механические свойства фаз шлаков и получены кривые хрупкости составляющих их компонентов. Проведено сравнение раскрываемости зерен шлака

при различных вариантах их дезинтеграции, разработана технология переработки шлаков ЗАО «Карабашмедь» в условиях Александринской ОФ с применением аппаратов центробежно-ударного дробления. Извлечение меди составляет 96 % с получением кондиционного концентрата.

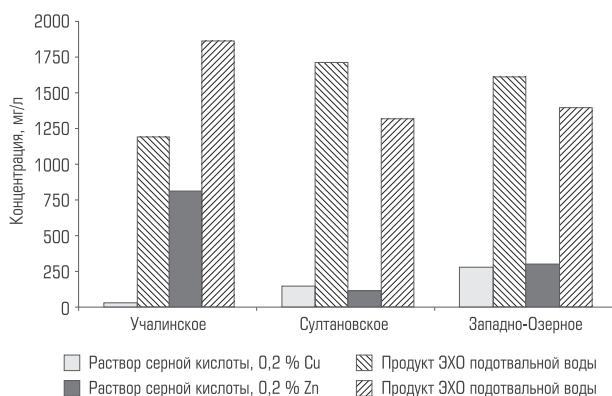
Значительно интенсифицировать процесс дезинтеграции и вскрытия тонкодисперсных минеральных комплексов благородных металлов при переработке отвальных сульфидсодержащих хвостов может позволить их предварительная обработка мощными электромагнитными импульсами (МЭМИ). Эффективное разупрочнение тонкодисперсных минеральных комплексов и селективное раскрытие сростков сульфидов и благородных металлов достигается вследствие образования каналов электрического пробоя, растрескивания минеральных агрегатов на границах срастания компонентов с различными тепло- и электрофизическими свойствами и поглощения энергии импульсного электромагнитного излучения частицами благородных металлов и полупроводниковыми сульфидными минералами-носителями (скин-эффект).

Полученные в ИПКОН РАН экспериментальные результаты свидетельствуют о высокой эффективности предварительной импульсной обработки техногенного сырья. Прирост извлечения золота при цианировании отвальных пиритовых хвостов составил 30–80 % при существенном снижении расхода энергии на предварительное измельчение материала. Максимальный прирост извлечения металлов платиновой группы (МПГ) и золота в результате предварительного кратковременного механического измельчения и гравитационного обогащения в концентраторе Knelson песковой фракции отвальных хвостов медно-никелевых сульфидных руд составил, %: 67 Pt; 52,2 Pd; 74,7 Au при существенном повышении качества готового продукта (рис. 1).

Отвальные хвосты обогащения медно-никелевых сульфидных руд Норильского района состоят в основном из пустой породы (главным образом, силикатов) и могут быть использованы для приготовления закладочной смеси вместо специально добываемых для этого скальных горных пород и ангидрида. Это позволит значительно сократить затраты на закладку выработанных про-



**Рис. 1. Зависимости извлечения платины (1), палладия (2) и золота (3) от продолжительности предварительного измельчения и обработки мощными электромагнитными импульсами:**  
1–3 — без обработки; 1'–3' — с обработкой



**Рис. 2. Результаты испытаний электрохимической технологии водоподготовки в процессе выщелачивания бедных медно-цинковых руд некоторых месторождений**

странств, однако хвосты содержат до 8–13 % сульфидной серы, снижающей прочность закладочного массива, и более 1 г/т МПГ, поэтому необходима их предварительная переработка с выделением сульфидного продукта.

В ИПКОН РАН разработаны режимы флотационной подготовки отвальных хвостов обогащения Талнахской ОФ с целью их использования при закладке выработанного пространства. При использовании исходных хвостов в качестве заполнителя МПГ и сульфидная сера предварительно извлекаются в промпродукт флотацией. В результате флотационной подготовки отвальных хвостов к закладке из них удаляется до 94 % сульфидной серы и выделяется сульфидный продукт, содержащий 0,7 г/т платины и 2,1 г/т палладия.

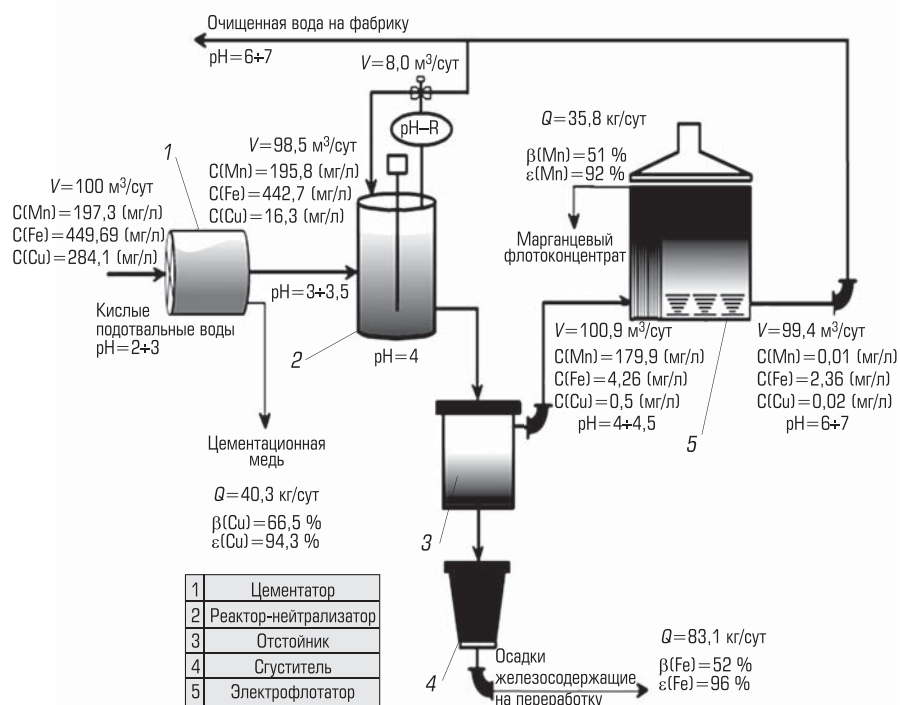
За долгие годы работы обогатительных фабрик Уральского региона по переработке медно-цинковых сульфидных руд накоплены большие объемы некондиционной руды и техногенных вод, вовлечение которых в переработку обеспечит комплексность освоения недр и может значительно улучшить здесь экологическую обстановку. Кучное выщелачивание — наиболее эффективный и экономичный метод извлечения металлов из сырья с низким содержанием ценного компонента. Исследованиями, проведенными в ИПКОН РАН, установлена возможность интенсификации процесса кучного выщелачивания медно-цинковых руд сложного вещественного состава путем использования в качестве выщелачивающего агента продукта электрохимической обработки подотвальных вод, характеризующегося высокой

концентрацией кислорода и активного хлора.

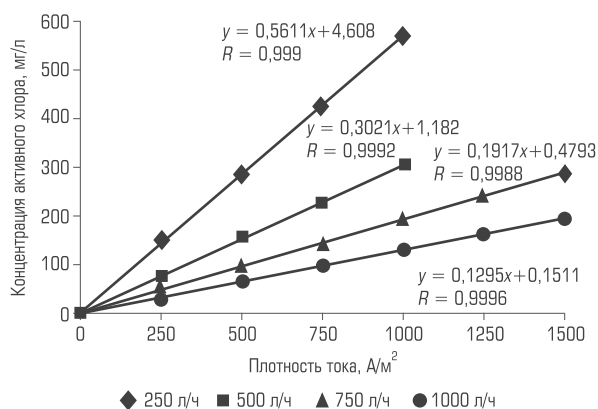
Повышение эффективности выщелачивания медно-цинковых руд с использованием продуктов электролиза подотвальной воды обусловлено интенсивным окислением сульфидов с образованием сульфатов, гидроксидов и оксидов металлов, а также разрушением матрицы минерала с образованием дефектов и микротрещин, что приводит к интенсивному проникновению в объем минерала выщелачивающего раствора и ускорению десорбции образующихся химических продуктов.

В результате испытаний по интенсификации процесса выщелачивания медно-цинковых руд применением электрохимической технологии водоподготовки, проведенных в условиях обогатительной фабрики ОАО «Учалинский ГОК», достигнуто увеличение скорости выщелачивания медно-цинковых руд Учалинского, Султановского, Западно-Озерного месторождений в 1,6–21,5 раза, при этом концентрация меди в продуктивных растворах увеличивается, соответственно, до 55, 260, 385 мг/л при использовании исходной подотвальной воды и до 1180, 1700 и 1600 мг/л при использовании электрохимически обработанной подотвальной воды; цинка, соответственно, — до 1170, 450 и 715 мг/л при использовании подотвальной воды и до 1850, 1310 и 1400 мг/л при использовании электрохимически обработанной подотвальной воды. При использовании 0,2%-ного раствора серной кислоты концентрация меди в продуктивных растворах не превысила 273 мг/л, Zn — 807 мг/л (рис. 2).

Для комплексной переработки гидротехногенного минерального сырья медноколчеданных месторождений Уральского региона научно обоснована, разработана и успешно испытана в условиях



**Рис. 3. Технологическая схема извлечения марганца из гидротехногенных ресурсов медноколчеданных месторождений**

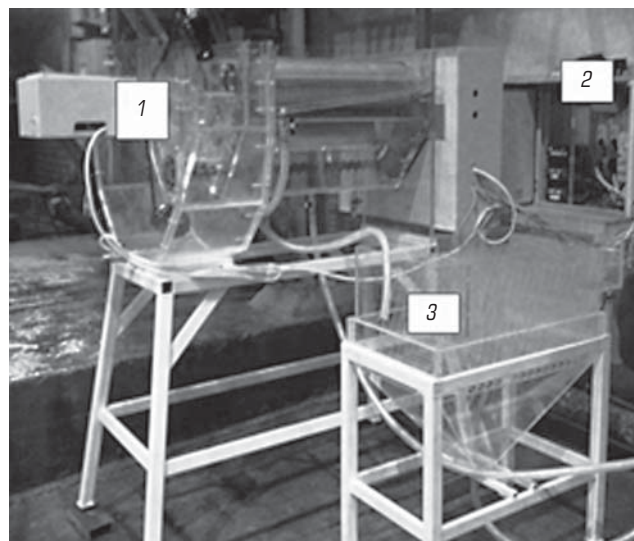


**Рис. 4. Зависимость концентрации активного хлора в воде от плотности тока**

ЗАО «Бурибаевский ГОК» электрофлотационная технология извлечения марганца. Эффективное извлечение марганца электрофлотацией предопределяется особенностями процесса окисления аквакаатионов марганца использованием «активного хлора», полученного из перерабатываемого сырья, а также устойчивостью образующихся труднорастворимых гидрофильных соединений  $MnO(OH)$  и  $MnO(OH)_2$ , которые после проведения предварительной электрокоагуляции извлекаются в пенный продукт по электростатическому механизму.

В целом предложенная к внедрению ресурсовоспроизводящая технология комплексной переработки гидротехногенных ресурсов медноколчеданных месторождений включает: выделение меди цементацией; осаждение железа методом нейтрализации в виде гидроксида при  $pH = 4-4,3$ ; последовательные операции окислительно-восстановительного осаждения, электрокоагуляции и электрофлотационного извлечения марганца. Внедрение технологии позволяет получать марганец в виде товарной продукции ( $Mn - 50,7\%$ ,  $Fe - 2,2$ ,  $Cu - 0,02$ ,  $Zn - 0,015\%$ ), которая, согласно ТУ-14-9-10-5-73, является кондиционным марганцевым концентратом I сорта и может быть пригодна для выплавки ферромарганца (ГОСТ 4755-70) и силикомарганца (ГОСТ 4756-70). Одновременно в сточных водах может быть снижено содержание  $Mn$  до ПДК (рис. 3).

Высокое потребление чистой маломинерализованной воды в отдельных технологических процессах обогатительных фабрик АК



**Рис. 5. Опытная модель электрохимического сепаратора (в комплексе с пакетным сгустителем) для очистки сапонитсодержащих вод:**

1 — электрохимический сепаратор; 2 — шкаф управления сепаратором; 3 — пакетный сгуститель ПС-0,1

«АПРОСА» за многолетний период их работы привело к повышению уровня воды в хвостохранилищах до критических отметок. Вследствие этого возникла необходимость увеличения их объема или утилизации значительных объемов высокоминерализованных технологических вод. В ИПКОН РАН разработана и предложена к внедрению безреагентная электрохимическая технология переработки минерализованных сливов хвостохранилищ и технологических вод обогатительных фабрик в объемах более  $100 м^3/ч$  в растворы гипохлорита, используемые для обеззараживания сточных и питьевых вод. Внедрение данной технологии является весьма актуальным для алмазодобывающих предприятий АК «АПРОСА», так как позволит продлить срок эксплуатации имеющихся хвостохранилищ и снизить эксплуатационные затраты при работе очистных сооружений прилегающих населенных пунктов за счет исключения операций завоза и хранения жидкого хлора.

В результате проведения теоретических и практических исследований разработаны требования к физико-химическим характеристикам минерализованных вод, пригодных для электрохими-

**Качественно-количественные показатели процесса электрохимической сепарации сапонитсодержащих техногенных вод (содержание твердой фазы ~ 200 г/дм<sup>3</sup>)**

Способ выделения осветленного слива и сапонитсодержащего продукта	Извлечение воды в слив, %	Извлечение сапонита в сгущенный продукт, %	Содержание твердой фазы в сливе, г/дм <sup>3</sup>	Содержание твердой фазы в сгущенном продукте, г/дм <sup>3</sup>	Расход электроэнергии на обработку 1 м <sup>3</sup> воды, кВт·ч
Выделение сгущенного продукта на аноде: с попутным получением воды на катодах в количестве 40 дм <sup>3</sup> /ч	72,7	93,3	20	560	5
	66,2	65	110,5	355	10,1
Выделение сгущенного продукта на аноде: с попутным получением воды на катодах в количестве 30 дм <sup>3</sup> /ч	65,7	97	10	485	6
	68,5	89,1	28	498	32,8

ческого получения растворов гипохлорита, и энергосберегающие режимы переработки технологических вод обогатительных фабрик в растворы гипохлорита, определено максимально допустимое время хранения полученных растворов, обеспечивающее эффективное их использование в схемах обеззараживания вод (рис. 4).

На примере ОФ № 3 Мирнинского ГОКа рассчитан материальный баланс потоков, расходные коэффициенты сырья и вспомогательных материалов, параметры основного промышленного оборудования, на основании показателей и параметров которых разработан технологический регламент получения гипохлоритных соединений из сливов хвостохранилища и их утилизации в схеме обеззараживания сточных вод Мирного. Процесс не сопровождается получением отходов. Данная технология позволит исключить из процесса обеззараживания 230 т жидкого хлора ежегодно.

Для технологических оборотных вод предприятий ОАО «Севералмаз» разработан электрохимический метод обесшламливания и выделения сапонитсодержащего продукта, обеспечивающий, с одной стороны, повышение эффективности и стабилизацию процесса извлечения алмазов из кимберлитов, с другой — решение экологической проблемы за счет организации замкнутого водоборота и предотвращения сброса загрязненных вод на поверхность (рис. 5 и таблица).

Представленные результаты свидетельствуют, что техногенное сырье — конкурентоспособный, перспективный минеральный

ресурс, использование которого по инновационным технологиям обеспечивает не только значительный экономический эффект, но и достигаемый попутно экологический как естественное следствие нового уровня требований современного горноперерабатывающего производства.

*Библиографический список*

1. Прогрессивные технологии комплексной переработки минерального сырья / коллектив авторов под ред. В. А. Чантурия. — М. : Издательский дом «Руда и Металлы», 2008. — 283 с.
2. Чантурия В. А. Новые технологические процессы комплексного извлечения ценных компонентов из минерального сырья: современное состояние и основные направления развития // Геология рудных месторождений. 2007. Т. 49. № 3, С. 235–242.
3. Чантурия В. А., Козлов А. П., Матвеева Т. Н., Лавриненко А. А. Инновационные технологии и процессы извлечения ценных компонентов из нетрадиционного, труднообогатимого и техногенного минерального сырья // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2012. № 5, С. 144–156. **ГЖ**

*Чантурия Валентин Алексеевич,  
тел.: +7 (495) 360-06-06  
Козлов Андрей Петрович,  
e-mail: kozap@mail.ru*

**DEVELOPMENT OF PHYSICAL-CHEMICAL BASIS AND WORKING OUT OF INNOVATION TECHNOLOGIES OF DEEP PROCESSING OF ANTHROPOGENIC MINERAL RAW MATERIALS**

**Chanturiya V. A.**<sup>1</sup>, Academician of Russian Academy of Sciences, phone: +7 (495) 360-06-06  
**Kozlov A. P.**<sup>1</sup>, Deputy Director, Doctor of Engineering Sciences

<sup>1</sup> Institute of Comprehensive Exploration of Subsoils of Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia)

In the short term period (from 2014 till 2020), there were defined the following research priorities in the development of physical and chemical principles and creation of innovation technologies for deep processing of anthropogenic mineral raw materials:

- substantiation of efficient processes of extraction of valuable components from mining and mineral processing wastes;
- combination of physical and chemical methods of concentration with chemical-metallurgical methods in processing of anthropogenic materials;
- obtaining of additional finished products of non-metallic parts of mining waste and recyclability;
- development of strategy for motivation disposal of mining wastes.

There are shown the main results of research of Institute of Comprehensive Exploration of Subsoils of Russian Academy of Sciences in these areas, including the study of the following possibilities:

- use of centrifugal impact of crushing machines for intensification of the process of disclosure of slag grains;
- introduction of energy methods for intensification of impact of disintegration and break-up of fine mineral complexes in processing of sulfide dump tailings;
- use of new class of flotation reagents for extraction of valuable components from final tailings from copper-nickel sulfide ores;
- use of electrochemical processing of down-waste water for intensification of the process of heap leaching of poor and oxidized copper-zinc ores;
- endurance of complete recovery of valuable components and creation of resource-recyclable technologies for complex processing of mineral raw materials from hydro-mineral copper-pyrite deposits;
- electrochemical processing of mineralized waters of concentrating plants of diamond producers into hypochlorite solutions for disinfection of domestic potable and waste water.

This work was carried out with the financial support of the program of Presidium of Russian Academy of Sciences PP-27 (ПП-27).

**Key words:** mineral concentration, anthropogenic mineral raw materials, deep complex processing, efficient physical and chemical processes, innovation technologies.

**REFERENCES**

1. *Progressivnyye tekhnologii kompleksnoy pererabotki mineralnogo syrya* (Progressive technologies of complex processing of mineral raw materials). Collective of authors under the editorship of V. A. Chanturiya. Moscow : "Ore and Metals" Publishing House, 2008, 283 p.
2. Chanturiya V. A., Kozlov A. P., Matveeva T. N., Lavrinenko A. A. *Fiziko-tekhnicheskie problem razrabotki poleznykh iskopaemykh* – *Journal of Mining Science*, 2012, No. 5, pp. 144-156.
3. Chanturiya V. A. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy* – *Geology of Ore Deposits*, 2007, Vol. 49, No. 3, pp. 235-242.