

УДК 622.7: 551.34 (001)

## РАЗРАБОТКА НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ЭФФЕКТИВНОГО ОБОГАЩЕНИЯ И ГЛУБОКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ В УСЛОВИЯХ КРИОЛИТОЗОНЫ

Матвеев А.И.<sup>1</sup>, Еремеева Н.Г.<sup>1</sup>, Лебедев И.Ф.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>«Федеральное государственное бюджетное Учреждение науки Институт горного дела Севера им. Н.В.Черского Сибирского отделения Российской академии наук (ИГДС СО РАН)», e-mail: [andrei.mati@yandex.ru](mailto:andrei.mati@yandex.ru).

Приведены результаты исследований процессов переработки и обогащения различных минеральных полезных ископаемых, полученные в ходе выполнения госбюджетных тем, силами коллектива лаборатории обогащения полезных ископаемых ИГДС СО РАН за последние годы. В настоящее время современные тенденции развития техники и технологии добычи, а в особенности в обогащении, связаны с необходимостью совершенствования существующих и разработки новых, инновационных технологий. Наиболее востребованы новые аппараты дробления и измельчения, позволяющие существенно интенсифицировать энергоемкие процессы рудоподготовки, активное внедрение процессов предварительного обогащения, комбинированные физико-химические методы комплексного извлечения полезных компонентов из труднообогатимых руд и песков, техногенных отвалов. Исследования, проводимые лабораторией, направлены на разработку новых эффективных процессов рудоподготовки, обогащения и глубокой переработки твердых полезных ископаемых, обеспечивающих увеличение продолжительности добычного сезона, повышение полноты извлечения и комплексного использования полезных компонентов, получение продуктов переработки сырья с высокой добавочной стоимостью.

Ключевые слова: дробление, измельчение, золото, промывка, пневмосепарация, крутонаклонный концентратор, магнитная отсадка, флотация.

## DEVELOPMENT OF NEW TECHNOLOGICAL SOLUTIONS CAN BE EFFECTIVELY ORE DRESSING AND PRETREATMENT PROCESSING OF MINERALS ADAPTING IN CONDISION OF CRYOLITHOZONE

Matveev A.I.<sup>1</sup>, Eremeeva N.G.<sup>1</sup>, Lebedev I.F.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, e-mail: [andrei.mati@yandex.ru](mailto:andrei.mati@yandex.ru).

The results of research into the processes of processing and enrichment of various mineral resources obtained during the execution of state budget topic by forces of the laboratory mineral processing IGDS SB RAS in recent years. Currently, modern trends in technology and production technology, and in particular enrichment, related to the need to improve existing and develop new, innovative technologies. Especially the demand for new vehicles crushing and grinding to significantly intensify the energy-intensive preparation processes, active implementation processes prior enrichment, combined physical and chemical methods of complex extraction of useful components from refractory ores and sands, man-made dams. Research carried out by the laboratory focused on the development of new effective preparation processes, concentration and deep processing of solid minerals, providing an increase in the duration of the mining season, increasing the efficiency of extraction and comprehensive utilization of mineral components, the product processing of raw materials with high added value.

Keywords: crushing, grinding, gold, flushing, airseparation, steeply inclined concetrator, magnetic jigging, flotation.

Территория Республики Саха (Якутия) по разнообразию и величине запасов месторождений полезных ископаемых является уникальной не только в России, но и в мировом масштабе. При этом следует учитывать, в сравнении с другими регионами России, более низкую степень геологической изученности территории Якутии, что свидетельствует о значительном потенциале выявления новых месторождений минерального сырья.

Сводным балансом запасов Республики Саха (Якутия) месторождений полезных ископаемых учтено 1155 месторождений по 39 видам минерального сырья и энергоносителей:

- 1) черные, цветные, редкие и рассеянные металлы - 112 (в т.ч.: железные руды - 15, олово - 58, вольфрам - 24, сурьма - 4);
- 2) благородные металлы и алмазы - 753 (в т.ч.: алмазы - 34, золото - 700, серебро - 18, платина - 1);
- 3) неметаллические полезные ископаемые - 54 (в т.ч.: флогопит - 34, гипс и ангидрит - 2, соль поваренная - 7, камнецветное сырье - 8, апатит - 1, гранит - 1);
- 4) нефть, природный газ, конденсат - 43 (в т.ч.: природный газ - 31, нефть - 12, конденсат - 14, гелий - 3);
- 5) строительные материалы - 146 (в т.ч.: облицовочные камни - 3, строительные камни - 29, песчано-гравийные смеси - 39, керамзитовое сырье - 16, сырье для изготовления минеральной ваты - 6, известняк на известь - 12);
- б) подземные воды - 24 (в т.ч.: лечебно-столовые минеральные - 4).

Для Якутии горнодобывающая промышленность является основой социально-экономического развития. В настоящее время производственные мощности горнодобывающей промышленности связаны с добычей алмазов и золота, сурьмы и углей. Производство сосредоточено в южных районах (золотодобывающая промышленность) и на западе республики (АК «АЛРОСА»). Проблема повышения эффективности горного производства и создания новых производственных мощностей особенно актуальна для северо-восточных районов Республики Саха (Якутия), вследствие слабой инфраструктурной подготовки территорий, удаленности перерабатывающих производств и потребителей продукции, многих других удорожающих факторов. Суровые природно-климатические условия, наличие вечной мерзлоты вызывают дополнительные трудности при добыче полезных ископаемых. Сложные горно-геологические, геокриологические и горнотехнические условия накладывают свой отпечаток на все этапы добычи, как при подземной, так и при открытой разработке. Климат региона резко-континентальный, характеризуется продолжительной морозной зимой и жарким коротким летом. Среднегодовая температура достигает  $-7^{\circ}\text{C}$ , наиболее низкая  $-60-65^{\circ}\text{C}$ . Годовое количество осадков сравнительно невелико и достигает  $-350-450$  мм/год.

Все эти особенности необходимо учитывать уже на стадии проектирования предприятий, поскольку это влияет на выбор технологии, средств комплексной механизации и способов управления геомеханическими и тепловыми процессами, происходящими в массивах многолетнемерзлых горных пород.

Существующие технологии обогащения золота, платины, олова, сурьмы, углей и других полезных ископаемых, базирующиеся, как правило, на использовании технологической воды, в особенности, на базе промывочных приборов и небольших обогатительных установок, остаются ориентированными на переработку и обогащение легкообогатимого минерального сырья и ограничены короткими сроками промывочного сезона в условиях криолитозоны.

Современное состояние минерально-сырьевой базы не только Республики Саха (Якутия), но и России в целом (истощение легкодоступных запасов, вовлечение в добычу все более бедных и менее качественных полезных ископаемых) приводит к необходимости совершенствования существующих и разработки новых, в том числе комбинированных, физико-химических методов извлечения полезных компонентов из труднообогатимых руд и песков, техногенных отвалов, истощенных и нарушенных залежей, малообъемных рудных тел и рудопроявлений и др.

В сложившихся условиях современные тенденции развития техники и технологии добычи, а в особенности в обогащении, связаны с необходимостью совершенствования существующих и разработки новых, инновационных технологий. Особенно востребованы новые аппараты дробления и измельчения, позволяющие существенно интенсифицировать энергоемкие процессы рудоподготовки, активное внедрение процессов предварительного обогащения, комбинированные физико-химические методы комплексного извлечения полезных компонентов из труднообогатимых руд и песков, техногенных отвалов.

Исследования, проводимые лабораторией, направлены на разработку новых эффективных процессов рудоподготовки, обогащения и глубокой переработки твердых полезных ископаемых, обеспечивающих увеличение продолжительности добычного сезона, повышение полноты извлечения и комплексного использования полезных компонентов, получение продуктов переработки сырья с высокой добавочной стоимостью.

В последнее время экспериментально-исследовательские работы сосредоточены на решение следующих задач:

- раскрытие технических и технологических возможностей сухих способов дробления и измельчения широкого спектра геоматериалов с использованием метода многократных динамических воздействий;
- существенное сокращение объема тонкоизмельченной горной массы за счет использования пневматической сепарации при предварительном обогащении минерального сырья, что позволит организовать переработку по месту добычи без использования воды;
- повышение эффективности промывки высокоглинистых песков, исключаящие формирование особоплотных глинистых образований (окатышей) и создающие условия их

интенсивной дезинтеграции;

- увеличение степени извлечения трудноизвлекаемых тонких классов золота из песков с использованием эффекта улавливания в восходящих потоках гидросмеси;
- изучение закономерностей флотационного разделения минералов на поверхности вращающейся жидкости.

По данным направлениям исследований в ИГДС СО РАН получен ряд важных результатов.

Разработан новый эффективный способ рудоподготовки, основанный на ударном способе дробления и измельчения, предусматривающий достижение полноты разрушения кусковых геоматериалов, за счет сообщения многократных динамических воздействий в рабочей зоне дробления рабочими органами и организации взаимного столкновения частиц друг с другом в режиме самоизмельчения. Для процессов измельчения особенность способа предусматривает усиление величины сообщаемых импульсов по мере перемещения разрушаемого материала в рабочей зоне, что предполагает, например, использование ступенчатой формы рабочих органов измельчителя [1].

Разработаны конструкции и запатентован ряд новых аппаратов дробления и измельчения (Патент РФ №2171141 Центробежная дробилка встречного удара для мелкого дробления; Патент РФ №2198028 Центробежный измельчитель; Патент РФ №2279921 Вертикальная роторная дробилка; Патент РФ № 2416463 Центробежный измельчитель с кольцевыми отбойными элементами).

Экспериментальными исследованиями показана возможность достижения более высокой степени дробления в новой дробилке многократного динамического воздействия ДКД-300 (конструкции ИГДС СО РАН) по сравнению с роторной дробилкой Nordberg NP-1007 (Финляндия) испытанной в аналогичных условиях (рисунок 1) [2,3,4].

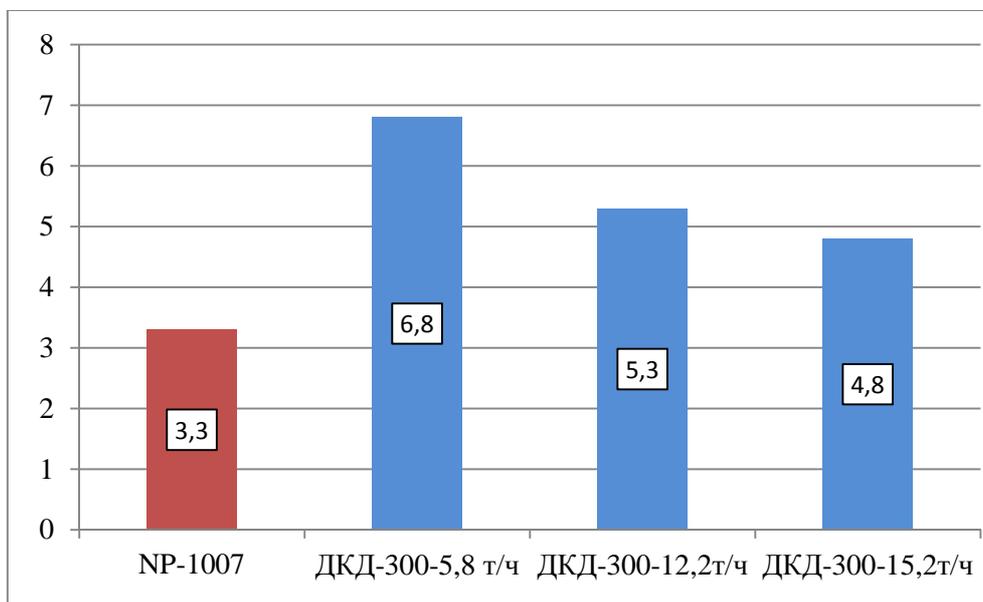


Рисунок 1 - Степень дробления кимберлитовых руд тр. «Зарница» на дробилках ДКД-300 и Nordberg NP-1007.

Степень дробления в дробилке ДКД-300 при всех испытанных значениях производительности выше, чем у центробежной дробилки Nordberg NP-1007, а сохранность кристаллов алмазов в бетонных моделях (модель скрытых алмазов) выше в три раза, по сравнению с мельницами самоизмельчения.

Дробилка показывает высокую степень раскрытия различных мономинеральных фаз, например, при дроблении флюоритовой руды одного из месторождений Монголии достигается высокая раскрываемость флюорита по выходу мономинералов до 70% (рисунок 2) [5]. Полученная степень раскрытия минералов позволяет осуществлять процесс обогащения непосредственно после дробления.

Разработаны способы пневматической гравитационной сепарации минеральных смесей по плотности, по миграционной способности в воздушно-песчаном потоке в аэродинамических трубах разной конфигурации. Разработаны и испытаны новые конструкции пневмосепараторов: ПОС-2000 (основа: прямоточная аэродинамическая труба) и ВПС-500 (винтообразная аэродинамическая труба, опытный образец, в настоящее время, находится на стадии проектирования и изготовления).

Экспериментальными исследованиями обогащения золотокварцевой руды месторождения Дуэтское с использованием пневмосепараторов ПОС-2000 и ВПС конструкции ИГДС СО РАН установлен диапазон крупности исходного материала (ПОС-2000: 0,25 - 1,6 мм; ВПС: 0,05 - 1 мм), обеспечивающий рациональный уровень степени сокращения и извлечения свободного золота (ПОС-2000: извлечение 75,4 - 95%, сокращение 8,3 - 11,4 раз; ВПС: извлечение 80 - 96,5% и сокращение 7,3 - 10,5 раз).

Полученные результаты позволяют разработать и рекомендовать последовательную технологическую схему сухой переработки и обогащения золотокварцевой руды месторождения Дуэтское с использованием разработанных аппаратов рудоподготовки и пневмосепарации со степенью сокращения до 25 раз.

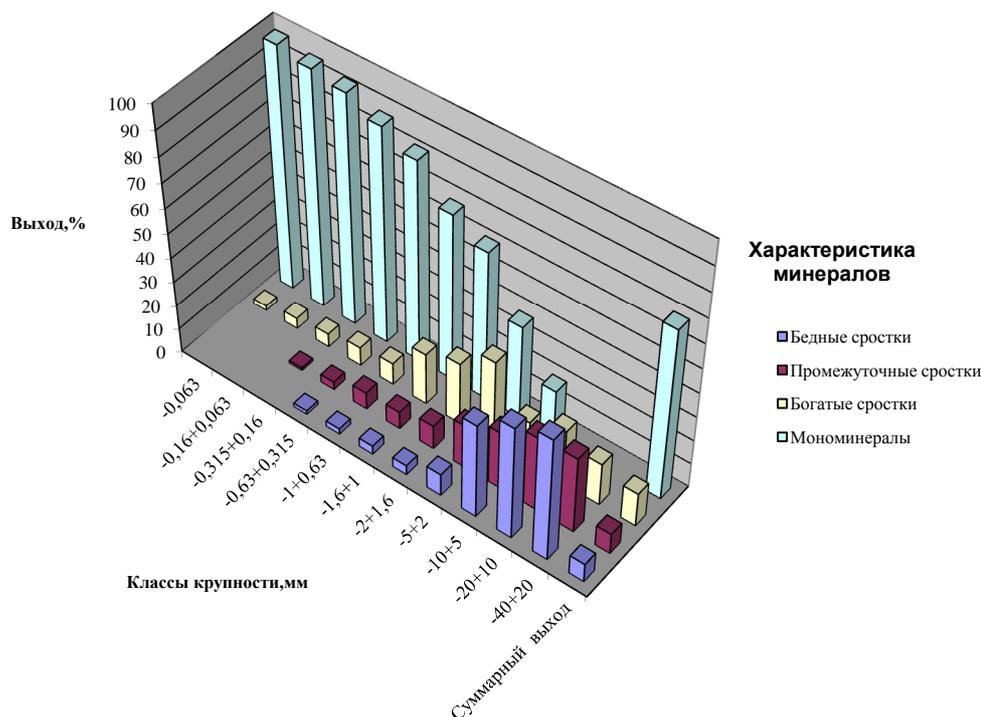


Рисунок 2 - Распределение флюорита по степени раскрытия в продуктах дробления ДКД-300.

Исследования пневмосепарации проведены при различных условиях отрицательных температур окружающей среды и влажности (льдистости) и определена область эффективной работы [6,7].

В области дезинтеграции высокоглинистых песков изучены стадии и динамика формирования глинистых окатышей, в особенности, в промывочных устройствах барабанного типа (скрубберы).

Проблему образования глинистых окатышей, можно решить с помощью применения виброактивных интенсивных воздействий в водо-воздушной среде и предварительной шихтовки исходных песков обломочным материалом.

При гравитационном обогащении золота, практически во всех его проявлениях характерно влияние формы частиц, особенно таких трудноизвлекаемых форм, как уплощенные и чешуйчатые. Для повышения обогащения предложен вариант разделения минеральных зерен на восходящих потоках гидросмеси, позволяющий переориентировать уплощенные частицы в потоке и увеличить их гидравлическую крупность. Нами разработана новая конструкция крутонаклонного концентратора, в которой создается зона разделения в ограниченном пространстве, образованном крутонаклонно установленными пластинами, где разделение минералов происходит на восходящих потоках воды по крутонаклонной поверхности.

Экспериментальными исследованиями по гравитационному разделению искусственных минеральных смесей в лабораторном крутонаклонном концентраторе, достигнуто сокращение материала в 3-4 раза, а извлечение тяжелых минералов плотностью от 6-8 г/см<sup>3</sup> из кварцевой основы - до 92% [8].

В области флотационного разделения минералов обоснован новый метод флотации, основанный на разделении минеральных частиц на поверхности вращающейся жидкости, где помимо соотношения действующих сил поверхностного натяжения и гравитации дополнительно участвуют капиллярная и центробежная силы.

Разработаны два варианта центробежных флотационных машин: с центральной разгрузкой и периферийной разгрузкой концентрата. Проведенной серией флотационных экспериментов на продуктах обогащения золото-сурьмяной руды определена возможность повышения качества получаемых флотоконцентратов проведением перечистки концентрата флотоколонны на центробежной флотомашине. При содержании в исходном концентрате 19,5 г/т золота получен концентрат перечистки с содержанием золота 43,42 г/т, извлечение золота составило 61,32 %, степень концентрации – 2,22. Проведением перечистки на центробежной флотомашине хвостов механической флотации (содержание золота 1,4 г/т), (реагентный режим основной флотации: бутиловый ксантогенат – 300 г/т; сосновое масло – 50 г/т), показана возможность доизвлечения золота, не извлекаемого гравитацией и флотацией по существующей технологии обогащения на фабрике. Получен концентрат перечистки, с содержанием 6,8 г/т золота и хвосты – 1,04 г/т золота [9,10].

Разработан способ, позволяющий совмещать процессы магнитной сепарации и гравитационной доводки шлихов (концентратов) в одном аппарате – отсадочной машине с магнитной системой. Для достижения наибольшего эффекта выделения немагнитных тяжелых минералов из массы шлиховых материалов, с высоким содержанием магнитных минералов используется полюсопеременное магнитное поле, которое формирует постель отсадочной машины динамичной разрыхленной структурой. Способ может быть использован при операциях глубокой доводки концентратов [11].

### **Заключение**

Результаты исследований, кратко представленные в данной статье, являются пионерными и могут быть использованы при разработке эффективных методов, средств и элементов геотехнологий освоения месторождений в области криолитозоны и создании производств по глубокой переработке твердых полезных ископаемых: алмазов и золота.

### **Список литературы**

1. Григорьев Ю. М. Испытания дробилки комбинированного действия ДКД–300 на ОФ № 12 Удачинского ГОКа при обработке руды трубки «Зарница» // Наука и образование. – 2012. - № 2.- С. 19 – 25.
2. Еремеева Н.Г. Обогащение песков, содержащих тонкое и мелкое золото в крутонаклонном концентраторе // Горный информационно-аналитический бюллетень.– 2011–№10.–С. 252-256.
3. Лебедев И.Ф. Технологические испытания пневмосепаратора ПОС-2000 в составе модульной передвижной рудообогатительной установки (МПРОУ) в условиях отрицательных температур // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012.– №10.– С.212-217.
4. Лебедев И.Ф. Результаты испытания пневмосепаратора ПОС-2000 при отрицательных температурах // Проблемы недропользования: материалы V Всерос. молодежной научн. практ. конф. ( Екатеринбург, 8-11.февр. 2011 г.)- Екатеринбург, 2011.– С. 151-157.
5. Матвеев А.И. Конструктивные особенности центробежной мельницы ЦМВУ-800 // Горный информационно-аналитический бюллетень.– 2010. –№2.–С.30-31.
6. Матвеев А.И. Некоторые результаты межциклового дробления кимберлитов на дробилке ДКД-300 //Геомеханические и геотехнические проблемы эффективного освоения месторождений твердых полезных ископаемых северных и северо-восточных регионов России: материалы Всерос. научно.-практической конф., посвящ. памяти чл.-кор. РАН Новопашина М.Д., (Якутск, 14-15 сент. 2011 г.) – Якутск, 2011 – С. 177-180.
7. Матвеев А.И. Особенности измельчения геоматериалов в центробежных аппаратах многократного динамического воздействия // Горный информационно-аналитический бюллетень.– 2011.–№11.– С. 200-204.
8. Матвеев А.И. Исследования раскрытия минералов флюорита в процессе ударного дробления осуществляемого в дробилке комбинированного действия ДКД-300 // Горный информационно-аналитический бюллетень.– 2011.–№10.– С. 259-263.
9. Матвеев А.И. Эффективность применения центробежной флотации при обогащении золотосодержащих продуктов // Горный информационно-аналитический бюллетень.– 2011.– №10.– С. 263-266.
10. Саломатова С.И. Флотационное извлечение мелкого и тонкого золота в центробежном поле // Горный информационно-аналитический бюллетень.– 2008. – №7.- С.364-369.
11. Слепцова Е.С. Способ переработки шлихов при отсадке в магнитном поле // Горный информационно-аналитический бюллетень.– 2011.– №10.– С. 269-276.

**Рецензенты:**

Хохолов Ю.А., д.т.н., с.н.с., Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела Севера им.Н.В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук (ИГДС СО РАН) лаборатория «Горная теплофизика», г. Якутск.

Курилко А.С., д.т.н., заведующий лабораторией, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела Севера им.Н.В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук (ИГДС СО РАН), лаборатория «Горная теплофизика», г. Якутск.