



ЭГД
ЭлектроГидроДинамика
группа компаний

НПФ «ЭлектроГидроДинамика»
197022, Санкт-Петербург,
ул. Всеволода Вишневского, д. 12а,
оф. 706 и 707.
E-mail: egd.spb@gmail.com
www.электрогидродинамика.рф

Лабораторная электрогидравлическая установка ЭГДЛ-10 для дезинтеграции геологических проб

Мартынов Н.В., Суханова К.Г., Аврамов Д.В., Ольховский А.М.

Минералогическое изучение геологических проб направлено на получение полноты информации о минералах (крупность, форма, состав) для определения технологических показателей обогатимости полезных ископаемых и разработки технологии рудоподготовки, обогащения и глубокой переработки [3]. Выбор рациональной технологии обработки проб во многом определяет достоверность аналитических результатов, выдаваемых лабораторией. Особую актуальность проблема подготовки проб приобретает в области комплексной и глубокой переработки природного и техногенного минерального сырья [9]. Наиболее перспективными направлениями на данный момент являются высокоэффективные энергосберегающие технологии рудоподготовки и селективной дезинтеграции руд сложного вещественного состава не допускающие переизмельчения основных полезных минералов.

Традиционно в лабораториях используются для дробления материала механические щековые и валковые дробилки, для измельчения — шаровые мельницы, вибрационные измельчители и различные типы истирателей [7].

Главными недостатками механической дезинтеграции является плохая раскрываемость минералов и их сростков, переизмельчение минералов, высокие энергозатраты и образование пыли. Это происходит как в лабораториях, так и промышленных условиях. Например, в наиболее распространенных в рудоподготовке барабанных

Разработана новая лабораторная электрогидравлическая установка ЭГДЛ-10 для дезинтеграции геологических и технологических проб массой до 10 кг. Принцип действия установки основан на электрогидравлическом эффекте, позволяющем разрушать материал по межзерновым границам минералов, за счет чего достигается высокая эффективность дезинтеграции руд, техногенного сырья и высокоглинистых пород. Сравнительный анализ работы установки ЭГДЛ-10 с оборудованием классической рудоподготовки, показал высокую степень раскрытия минералов до мономинерального состояния независимо от крупности самих зерен.

Получены высокие показатели очистки минералов от глинистой фракции и окисленных пленок. Установка ЭГДЛ-10 сочетает в себе несколько процессов (дробление, грохочение и оттирку), обработка исходного материала происходит в воде, без образования пыли и с малыми временными и энергетическими затратами.

Ключевые слова: электрогидравлический эффект, пробоподготовка, руды, техногенное сырье, дезинтеграция и отмывка глины, разрушение по спаянности

шаровых мельницах более 80 % электроэнергии расходуется на производство шума, тепла, износ мелющих тел и футеровки и др. [8]. В лабораторных условиях это в дополнение ко всему снижает эффективность минералогического анализа из-за перевода всех минеральных составляющих в пыль, независимо от прочностных свойств.

В технологии дробления и обогащения руд наибольшее значение имеет селективность процессов, которая

может значительно повысить их эффективность. Актуальность разработки избирательных методов разрушения связана с тем, что традиционные механические методы приводят к нарушению форм зерен извлекаемых минералов. При избирательном разрушении руд и горных пород происходит отделение полезных компонентов от вмещающей породы с сохранением естественных (природных) форм зерен минералов [2]. Однако при современном уровне развития технологии отсутствуют

способы селективной подачи энергии в зоны межфазных контактов, поэтому эффективность механических технологий разрушения чрезвычайно низка: полезное использование энергии в них не превышает 1 %.

Наиболее перспективными в этом плане являются электроимпульсные и электрогидравлические технологии. На основе электроимпульсной технологии работают установки ДИК, КЛЕИД, SELFRAG Lab, CNT EPD Shark-10 и т.д. Существенным недостатком электроимпульсной технологии является использование высоковольтного (больше 200 кВ) разряда, который проходит через обрабатываемый материал по межзерновым границам, повреждая минералы, находящиеся во вмещающей породе.

Более щадящей для извлекаемых минералов и более безопасной является электрогидравлическая технология, при которой высоковольтный (до 100 кВ) разряд проходит через рабочую жидкость, а раскрытие минералов осуществляется воздействием знакопеременных мощных импульсов давления, возникающих в этой жидкости.

В отличие от традиционного дробильно-измельчительного оборудования механической дезинтеграции материала, электрогидравлическая (ЭГ) технология позволяет разрушать материал по межфазным границам в результате управляемых электроимпульсных нагрузок [6]. ЭГ технология основана на электрогидравлическом эффекте Л.А. Юткина, который заключается в действии различного рода факторов, в результате которых происходит разрушение минеральных связей за счет импульсного электрического разряда в жидкости. Эффект состоит в одновременном действии высокого и сверхвысокого импульсного гидравлического давления, приводящего к появлению ударных волн со звуковой и сверхзвуковой скоростями; мощных кавитационных процессов; инфра- и ультразвукового излучения; механических резонансных явлений, позволяющих отслаивать друг от друга составляющие многокомпонентных руд [11].

ЭГ технология уже зарекомендовала себя при обработке янтара [13], алмазосодержащих пород [4] и золотосодержащих глин [1, 14]. Учитывая сокращение минерально-сырьевой базы за счет отработки легкообогатимых месторождений [10] и низкой эффективности современного обогатительного оборудования при добыче труднообогатимых, например, высокоглинистых [5], руд и техногенного сырья, была создана лабораторная установка ЭГДЛ-10, обеспечивающая возможность дезинтеграции природного и техногенного сырья и золотосодержащих глин.

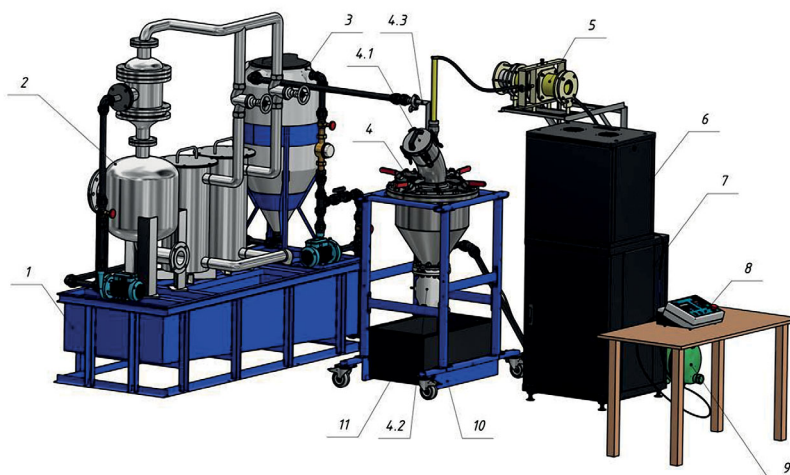


Рис. 1. Схема установки ЭГДЛ-10

Наименование параметра	Значение
Производительность установки, проб в час	10
Максимальная масса пробы, кг	10
Минимальная масса пробы, кг	0,5
Максимальная крупность загружаемых кусков, мм	80
Длина шлангов, м	5–15
Необходимый объем воды на пробу, л	6–8
Потребляемая мощность на пробу не более, кВт	0,02
Напряжение питания переменного тока, В	380±38
Частота питания переменного тока, Гц	50±1
Габаритные размеры установки, мм: — длина — ширина — высота	2856 3856 2200
Площадь помещения, м ²	18
Масса, кг	1000

Табл. 1. Технические характеристики ЭГДЛ-10

Лабораторная установка ЭГДЛ-10, основанная на ЭГ технологии, позволяет разрабатывать технологические схемы обогащения для проведения полупромышленных и промышленных испытаний с последующим проектированием обогатительных фабрик и совершенствовать технологические схемы и режимы рудоподготовки и обогащения руд на действующих предприятиях.

Электрогидравлическая установка ЭГДЛ-10 предназначена для обработки геологических проб массой до 10 кг в лабораторных условиях и может быть использована для подготовки проб к минералогическому анализу, для дезинтеграции руд в технологических экспериментах по глубокому обогащению гравитационными, флотационными, магнитными и другими методами.

ЭГДЛ-10 включает: активатор (4), установленный на раме (10) с приемной емкостью (11); воздушный компрессор (9); пульт управления (8); источник питания, состоящий из низковольтной

(6) и высоковольтной (7) части; воздушный разрядник (5) в качестве коммутатора высоковольтных импульсов. Гидросистема установки состоит из ванны (1), бака (3), гидроциклонного узла очистки воды УГО35-4 (2) и циркуляционных насосов (рис. 1).

ЭГДЛ-10 представляет из себя установку закрытого типа периодического действия с замкнутым контуром движения рабочей жидкости (технической воды), которая подается в нижнюю часть активатора (4). Очистка рабочей жидкости обеспечивается гидроциклонной установкой (2). Загрузка пробы производится оператором сверху через снятую крышку (4.1). Выгрузка отмытого минерального материала происходит через пережимной пневматический клапан (4.2) в нижней части активатора в сменный накопитель (11).

Выход измельченной фракции и глинистой суспензии осуществляется через патрубок в верхней части активатора (4.3). Крупность вымываемых частиц определяется производителем

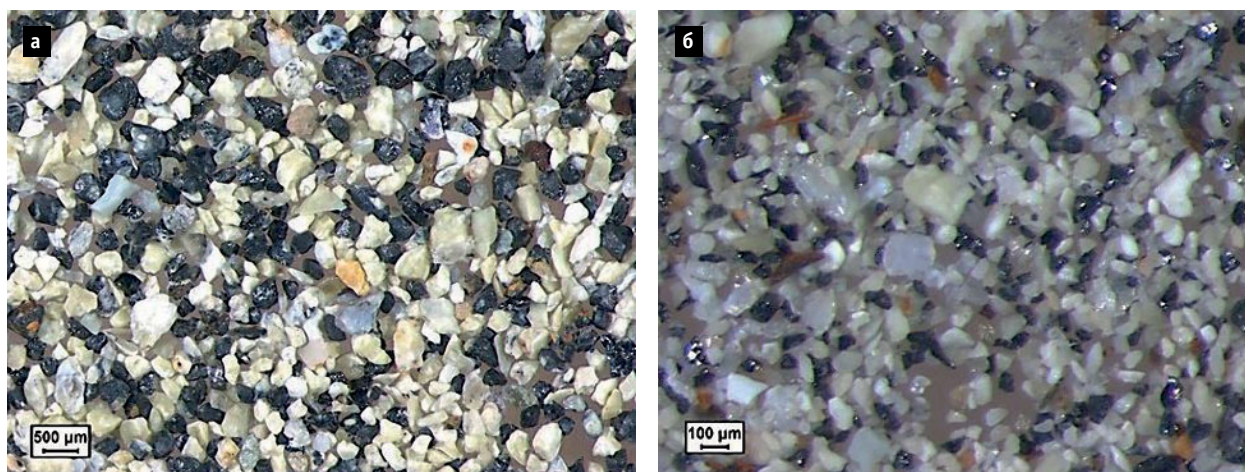


Рис. 2. Хромовая руда после дробления в установке ЭГДЛ-10: а) класс крупности $-0,5+0,2$ мм; б) класс крупности $-0,071+0,044$ мм

ностью циркуляционного насоса и диаметром условного прохода патрубка (режимы подбираются индивидуально в зависимости от задач пользователя).

Все узлы ЭГДЛ-10 соответствуют требованиям электробезопасности и нормам действующего законодательства.

Главные технические характеристики лабораторной установки ЭГДЛ-10 приведены в таблице 1 (с. 89).

Установка ЭГДЛ-10 предназначена для выполнения следующих операций при обработке геологических проб:

- дробление крупнокускового материала до крупности -5 или -1 мм с целью сокращения объема пробы на делителе Джонсона для получения аналитических навесок для химического и пробирного анализов. Гарантируется крупность материала;
- дезинтеграция высоко глинистых проб, коры выветривания в том числе труднопромывистых песков, с получением глинистой пульпы (суспензии) и серого или черного шлиха (песковогалечной фракции с целью раздельного проведения аналитических работ. Используется также перед гравитационным обогащением проб, перед пробирной плавкой благородных металлов, при наличии крупного свободного золота;
- измельчение проб с различными текстурно-структурными характеристиками с обеспечением раскрываемости минеральных сростаний по границам зерен. Применяется для повышения раскрываемости сростаний при одновременном снижении степени переизмельчения материала и обеспечивает чистоту минеральных зерен для минералогических исследований. Актуально для обработки кимберлитовых проб

как по достаточной массе пробы, так и гарантированной сохранности минералов спутников алмазов;

- очистка кристаллических минералов от поверхностных примазок, пленок как естественного, так искусственного происхождения (корочки окисления, флотационных и других реагентов, флокулянты и пр.);
- гидравлическая классификация (сепарация) легкой фракций при дезинтеграции горных пород и руд. Во время обработки частички глины, легких минералов отделяются от обработанной пробы и удаляются вместе с потоком воды и могут быть направлены на осаждение, сгущение или гравитационное обогащение;
- дробление до мономинеральных частиц обеспечивает повышение качественно-количественных показателей при разработке технологии обогащения, а также показывает направление рудоподготовки и дезинтеграции промышленных схем;
- эффект избирательного дробления применим при обогащении ювелирного сырья. Установка позволяет измельчать порообразующий материал, сохраняя при этом естественные грани кристаллов ювелирных минералов (алмаз, бериллы, гранаты);
- окисление сульфидов в пробах, в результате которого появляются магнитные свойства, свидетельствующие о фазовом переходе материала пробы, что позволяет обогащать упорные золотосодержащие руды. Применяется для обогащения золото-пирит-арсенипиритовых, сурьмяных руд и флотационных концентратов этих типов руд. В настоящее время продолжаются работы по подтверждению других возможностей данного метода и данной установки.

Ниже приводятся результаты и примеры сравнительных испытаний, подтверждающих эффективность электрогидравлического метода и установки ЭГДЛ-10 для хромовых руд, шлама марганцевых руд и высокоглинистых гетит-гидрогетитовых руд.

Хромовые руды

Сравнительный анализ степени раскрытия сростков минералов хромовых руд при дроблении на классической щековой дробилке и установке ЭГДЛ-10 выявил наиболее полное раскрытие минеральных агрегатов в классе крупности $-0,5+0,044$ мм в обоих случаях

Раскрытие рудных минералов в продуктах дробления в щековой дробилке начинается только в классе крупности $-2+1$ мм и значительно возрастает при крупности $-1+0$ мм, в то же время раскрытие нерудной фазы сначала идет достаточно равномерно с постепенным ростом до класса крупности $-0,5+0,2$ мм и последующим медленным снижением.

В дезинтегрированном материале электрогидравлического дробления наблюдается одновременное раскрытие рудных и нерудных минералов, начиная с крупного класса крупности $-6+2$ мм с постепенным увеличением до класса крупности $-0,5+0,2$ мм. В классах крупности $-0,2+0,1$ мм, $-0,1+0,071$ мм и $-0,071+0,044$ мм количество свободных рудных зерен колеблется в узких пределах 35,03–37,44 %, а содержание свободных нерудных зерен увеличивается до 60,13 %.

Характер раскрытия в материале импульсного электрогидравлического дробления очень сильно отличается от классической операции, уже в классах крупности $-6+2$ мм, $-2+1$ мм, $-1+0,5$ мм фиксируется совместное раскрытие рудных и нерудных минералов. Эффективность дробления ($\eta=75$ %) прослеживается в классах крупности

-0,5+0,044 мм. Минералогический анализ продуктов дробления показал 100 % содержание мономинеральных фракций, с очищенной поверхностью минералов хромовых руд и не выявил переизмельчения рудных минералов (рис. 2) при использовании установки ЭГДЛ-10.

Шламы марганцевой руды

Проведены сравнительные испытания подготовки шламов из хвостохранилища крупностью -0,1 мм марганцевой руды к магнитной сепарации на стандартном оборудовании (дробилка (КИД), грохот (SWECO LS-18), оттирочная машина (ОМ)) и с использованием установки ЭГДЛ-10. Испытания показали преимущества установки ЭГ которая позволяет совместить несколько технологических операций (дробление, грохочение, дезинтеграцию, оттирку от глины и минеральных пленок), а также сократить как материальные, так и энергетические затраты.

Установка ЭГДЛ-10 позволила раздробить и измельчить пробу руды до крупности -0,1 мм, отмыть ее от шламовой и иловой фракций (рис. 3), которые при дальнейшем глубоком обогащении негативно влияют на технологические показатели сепарации.

Применение ЭГДЛ-10 позволяет повысить содержание Mn в исходном материале крупностью -0,1+0,044 мм на 2,09 % (с 10,22 до 12,31 %) и снизить содержание SiO₂ на 18,47 % (с 72,68 до 54,21 %), по сравнению с использованием традиционного метода дробления на КИДе соответственно.

Накопление марганцевых минералов, в материале обработанном ЭГДЛ-10, произошло в тонких классах крупности (-0,074+0,044 мм) с 10,36 до 17,14 %. С понижением крупности несколько повышается содержание железа и снижается доля кремнезема с 4,32 до 5,31 % и с 57,88 до 44,09 % соответственно, что свидетельствует об отсутствии раскрытия материала пробы руды.

Результаты магнитной сепарации (при оптимальной величине магнитного поля равной 1,6 Тл) зернистого материала крупностью -0,1+0,020 мм, дробленного на КИДе и ЭГДЛ-10 выявили, что после стандартной рудоподготовки (КИД) магнитная фракция, содержит 21,53 % Mn, при извлечении 65,04 % и выходе — 35,35 %, а после рудоподготовки (ЭГДЛ-10) выделенная магнитная фракция, содержит 24,23 % Mn, при извлечении 51,10 % и выходе — 22,59 %.

Высокоглинистая гетит-гидрогетитовая руда

Сравнительный анализ результатов рудоподготовки с применением оттирочной машины (ОМ) и лабораторной

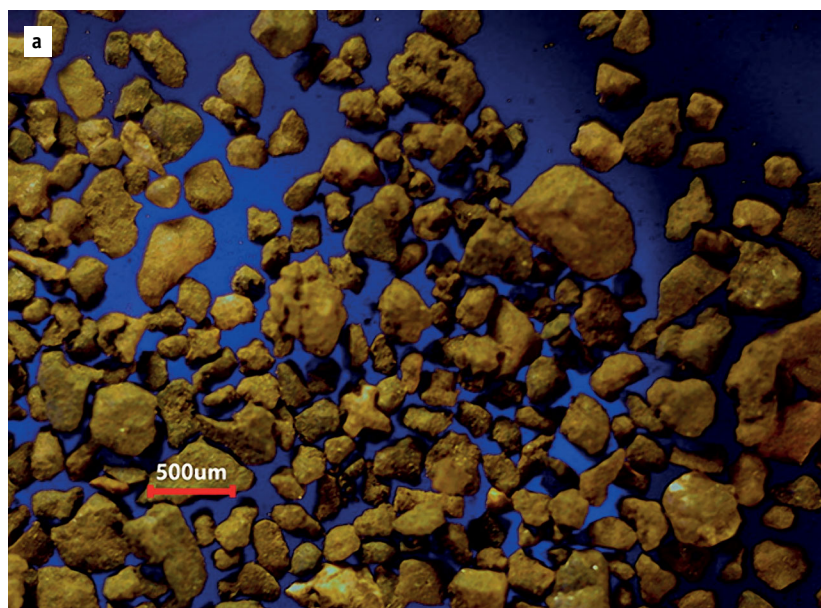


Рис. 3. Шлам марганцевой руды после обработки на установке ЭГДЛ-10: а) класс крупности -0,63+0,16 мм; б) класс крупности -0,05 мм

установки ЭГДЛ-10 для окисленной глинистой железной (гетит-гидрогетитовой) руды с ее последующим магнитным обогащением, позволил установить значительное уменьшение доли вредных примесей и увеличение доли полезных компонентов при обработке установкой ЭГДЛ-10.

Вредными лимитируемыми примесями в железосодержащем концентрате (магнитная фракция) являются фосфор и сера, они переходят в агломерат и чугуны, вызывая хладноломкость стали. Содержание фосфора в чугуне ограничивается 0,025–0,08 %. В настоящее время в металлургической переработке используются железорудные концентраты с содержанием железа от 43 до 66 %. Массовая доля серы не должна превышать 0,15 % и фосфора 0,16 %.

При применении традиционной рудоподготовки с оттиркой на ОМ и последующей магнитной сепарации зернистой части руды был получен концентрат, содержащий 0,12 % P и 0,03 % S, а при использовании установки ЭГДЛ-10 концентрат, содержащий 0,06 % P и 0,01 % S.

Результаты обработки окисленной глинистой железной (гетит-гидрогетитовой) руды при использовании ЭГДЛ-10 позволило получить более богатые по содержанию железа продукты («оттертая») фракция — 54,09 % Fe_{общ} против 52,71 % Fe_{общ} (при использовании ОМ). Магнитная сепарация позволила поднять качество получаемого железосодержащего концентрата на 2,21 % (с 66,55 до 68,76 % Fe), а также снизить содер-

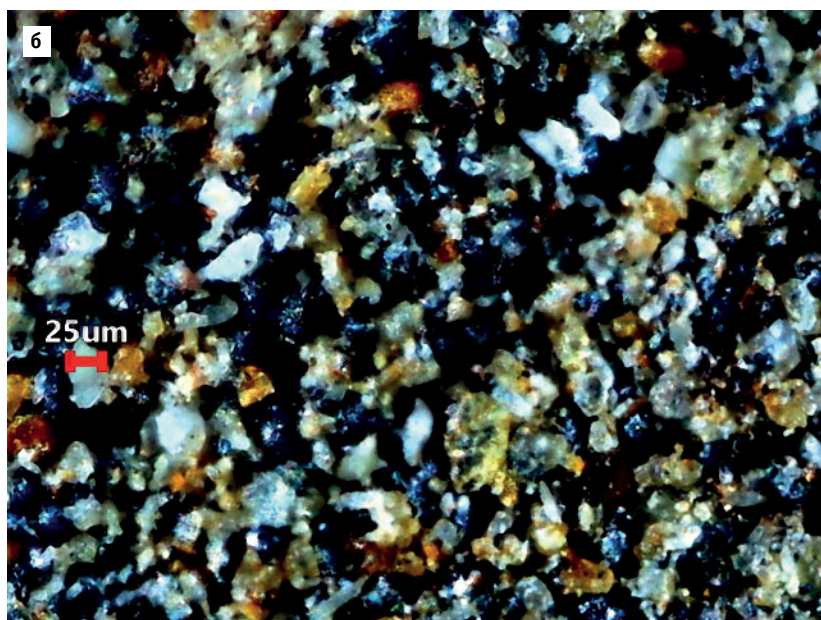


Рис. 4. Высокоглинистая гетит-гидрогетитовая руда после обработки на установке ЭГДЛ-10: а) класс крупности $-0,63+0,16$ мм; б) класс крупности $-0,05$ мм

жание лимитируемых вредных примесей — серы с 0,03 до 0,01 % и фосфора с 0,12 до 0,08 %.

После обработки глинистой железной руды на лабораторной установке ЭГДЛ-10, происходит полное разделение глинистой части от зернистой фракции, что и наблюдается на рисунке 4.

Янтарь

Наиболее наглядным примером для демонстрации максимальной эффективности установки ЭГДЛ-10 является обработка янтаря. Классическое обогащение песков содержащих янтарь, требует совмещения нескольких операций и использования установок для размыва глауконитовых глин, оттирки окисных корок и измельчения некондиционного янтаря при изготовлении янтарной крошки.

В настоящее время известно множество способов обработки янтаря: начиная с ошкуживания на обдирочном агрегате; ультразвуковой обработки с добавлением абразива и поверхностно-активных веществ; гидроабразивной обработке; гидроабразивной обработки с ферромагнитным порошком и воздействием электромагнитным полем, вибрацией, при постоянном нагревании до температуры, не превышающей температуру плавления янтаря; заканчивая обработкой тетрагидрофураном, с последующей промывкой водой под давлением с дополнительным воздействием ультразвуком (в отличие от всех перечисленных последний способ позволяет обрабатывать фракций до 16 мм и меньше). Однако все эти методы либо энергоемки, либо неэкологичны, либо дороги (в том числе из-за

высоких потерь сырья) [13]. В этой связи была изучена возможность применения установки ЭГДЛ-10, основанной на прямом преобразовании электрической энергии в механическую при помощи импульсного электрического разряда в водной среде (эффект Юткина), для обработки янтарного сырья.

Янтарь тонкого дробления находит широкое практическое применение. Однако при тонком дроблении обычными способами необходимо решить ряд проблем, обусловленных свойствами янтаря. Электрогидравлическая технология тонкого измельчения некондиционного янтаря обладает существенными преимуществами перед традиционным механическим размалыванием.

Для исследования возможности применения электрогидравлической технологии при очистке янтаря и его измельчении до янтарной крошки использовались образцы крупностью $-20+8$ мм, поступившие с предприятия АО «Калининградский янтарный комбинат». Характерной особенностью обрабатываемого янтаря является его высокая лещадность. Почти все образцы имеют плоскую пластинчатую форму с толщиной цельного материала в пластине от 1 до 5 мм.

Рассеивание исходного янтаря показало, что 95 % материала пробы характеризуется крупностью в пределах менее 20 и более 8 мм. Наиболее эффективный для дробления янтаря режим позволил получить выход класса крупности $-3+0,63$ мм — 54,32 %, при этом выход фракции $+3$ мм составил 39,09 %.

В результате экспериментов было установлено, что электрогидравлическая технология позволяет осуществлять дезинтеграцию некондиционного янтаря с высокой степенью измельчения даже без оптимизации режимов работы и не на специализированных установках, а установках общего назначения. В результате эксперимента на образцах природного янтаря получен не только отмытый, но и с удаленной оксидной пленкой с поверхности (ошкуренный) янтарь (рис. 5).

Дезинтеграция янтаря происходит раскалывающим ударным воздействием действующих факторов электрогидравлического эффекта в водной среде. Поэтому в активаторе установки не происходит никаких засорений, налипаний продуктов дробления и тому подобных побочных явлений.

Фракционный состав получаемого материала и степень его отмыва регулируются подбором режимов и применением нужных специальных активаторов.

ров. Полученная при очистке измельченная кора легко улавливается в отмытом виде и может быть использована в качестве сырья для дальнейшей переработки.

Использование электрогидравлического эффекта позволяет сочетать в одной технологической стадии отмывку и ошкуривание янтарного сырья, а так же проводить в одном аппарате три технологических процесса — отмывка, ошкуривание и дробление.

Установка ЭГДЛ-10 благодаря ЭГ технологии совмещает работу вышеперечисленного оборудования с достижением высокой эффективности при малых энергетических затратах. Так, рисунок 5 демонстрирует достижение очень высокой степени очистки поверхности янтаря практически без разрушения исходного материала. Крупность материала после обработки достигается подбором размеров классификационной решетки и может достигать -0,05 мм.

Выводы

Лабораторная установка ЭГДЛ-10 позволяет проводить дезинтеграцию руд, техногенного сырья и высокоглинистых материалов при пробоподготовке геологических проб массой до 10 кг.

Сравнительный анализ результатов работы ЭГДЛ-10 выявил значительно более высокую эффективность дробления, грохочения, дезинтеграции и оттирки по сравнению с классическим оборудованием.

Лабораторная установка ЭГДЛ-10 позволяет достигать высокой степени раскрытия сростков минералов при сохранении природной крупности рудных зерен, тем самым увеличивая выход полезных компонентов. Удаление глинистой фракции и окисленных пленок сокращает содержание вредных примесей в минералах. Кроме того, обработка исходного материала происходит в воде, без образования пыли и с малыми временными и энергетическими затратами. ♦



Рис. 5. Янтарь после обработки на установке ЭГДЛ-10: а) Очищенный янтарь и янтарь до обработки; б) класс крупности -5+2,5 мм



1. Аврамов Д.В., Мартынов Н.В., Добромиров В.Н. Электрогидравлический способ обогащения золотосодержащей глинистой руды коры выветривания. Золотодобыча. 2019 (248), с. 8–14.
2. Анкудинова Е.А., Хмелевский Ю.П., Юшков А.Ю. Сравнительный анализ электроимпульсных установок для дезинтеграции горных пород. In Молодежь и современные информационные технологии: сборник трудов XIV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 7–11 ноября 2016 г., Т. 2. — Томск, 2016. 2016 (Vol. 2, pp. 247–248). Изд-во ТПУ.
3. Бортник А.В., Самуков А.Д., Степанян А.С., Мезенин А.О. Лабораторное оборудование для исследований в области обогащения полезных ископаемых. Записки Горного института. 2012, с. 198.
4. Мартынов Н.В., Добромиров В.Н., Аврамов Д.В. Электрогидравлическая технология дезинтеграции алмазосодержащих пород. Обогащение руд. 2020(1), с. 8–14.

5. Пономарчук Г.П. Совершенствование технологии дражной разработки глубокозалегающих россыпей Приамурья: дис. ... канд. техн. наук / Пономарчук Г.П. — Хабаровск: ИГД ДВО РАН, 1999. 147 с.
6. Ризун А.Р., Кононов В.Ю., Рачков А.Н. Электроразрядная селективная дезинтеграция рудного сырья. Электронная обработка материалов. 2013(4).
7. Самойлик В.Г. Исследования полезных ископаемых на обогатимость. Донецк: ДонНТУ, 2018. 190 с.
8. Холунов Э.А. Анализ причин низкой энергоэффективности процессов разрушения минерального сырья. Современная техника и технологии. 2014(10). С. 42–51.
9. Чантурия В.А., Вайсберг Л.А., Козлов А.П. Приоритетные направления исследований в области переработки минерального сырья. Обогащение руд. 2014(2), с. 3–9.
10. Чантурия В.А., Козлов А.П., Чекушина Т.В. Современные проблемы комплексной переработки труднообогатимых руд и техногенного сырья (Плаксинские чтения — 2017).

11. Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект. Машиз; 1955. 253 с.
12. Юшков А.Ю. Электроимпульсное разрушение горных пород // Современные научные исследования и инновации. 2015. № 4
13. Martynov N., Avramov D., Kozlov G., Pushkarev M. Pulsed electric discharge in an aqueous medium for processing raw amber. In Journal of Physics: Conference Series 2020 Aug 1 (Vol. 1614, No. 1, p. 012060). IOP Publishing.
14. Martynov N., Dobromirov V., Avramov D., Miroshkin V. Electrohydraulic pretreatment method for the purpose of complex enrichment of fine clay ores of weathering crust. In Journal of Physics: Conference Series 2020 Aug 1 (Vol. 1614, No. 1, p. 012056). IOP Publishing.