

**ОБОГАЩЕНИЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ
MINERAL PROCESSING**

Научная статья

УДК 622.7, 621.298

DOI: 10.26730/1999-4125-2025-3-160-168

**ПРИМЕНЕНИЕ КОРОННО-ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЙ СЕПАРАЦИИ ДЛЯ
ПОВЫШЕНИЯ УРОВНЯ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ РУДНЫХ ПЕСКОВ**Устинова Яна Вадимовна ¹, Белоглазов Илья Ильич ¹,
Ракипов Антоний Сергеевич ²¹ СПГУ императрицы Екатерины II² АО «Северминералс»

* для корреспонденции: kuskova_yav@pers.spmi.ru

**Информация о статье**

Поступила:

16 октября 2024 г.

Одобрена после

рецензирования:

10 июня 2025 г.

Принята к публикации:

20 июня 2025 г.

Опубликована:

26 июня 2025 г.

Ключевые слова:

Сухие методы переработки
руд, коронно-
электростатическая
сепарация, комплексная
технология, рудные пески,
моделирование процессов
обогащения

Аннотация.

Около 65% мирового производства титановых концентратов базируется на переработке руд россыпных месторождений и только 35% – на переработке руд коренных месторождений. Процесс обогащения россыпей, как правило, осуществляется в две стадии. Первая стадия заключается в первичном гравитационном обогащении, при котором получается черновой коллективный концентрат. Вторая стадия заключается в селекции (доводке) указанного коллективного концентрата методами магнитной и электрической сепарации с получением отдельных рутилового, ильменитового, цирконового, монацитового, дистенсиллиманитового, ставролитового и других концентратов. В данной статье приведено технологическое обоснование комбинированной технологии переработки титаноциркониевых песков Туганского месторождения. Выполнены исследования вещественного состава и обогатимости россыпей. Целью исследований было получение кварцевых песков «стекольного» качества с использованием электрической сепарации. К стекольным пескам предъявляются достаточно высокие требования. Главное требование – минимальное содержание примесей. Объектом исследований являлись рудные пески Туганского месторождения, из которых получают ильменитовый, рутиллекоксеновый и цирконовый концентраты. В 2006 г. на ЗАО «Туганский горно-обогатительный комбинат «Ильменит» было организовано опытно-промышленное производство по комплексной переработке ильменит-цирконового песков Южно-Александровского участка Туганского месторождения. Его разработка завершена в 2016 г. с принятием решения о проектировании и последующем строительстве промышленного предприятия большей мощности. Высокая эффективность попутного выделения кварцевого песка из титановых руд стала ключевым аспектом обеспечения рентабельности реализации проекта по добыче рудных песков и их обогащению на Туганском месторождении. В данной работе показана возможность применения коронно-электрической сепарации для получения товарных кварцевых концентратов. Определена необходимость проведения дальнейших исследований и моделирования электростатической сепарации в высокотехнологичных аппаратах отечественного производства.

Для цитирования: Устинова Я.В., Белоглазов И.И., Ракипов А.С. Применение коронно-электростатической сепарации для повышения уровня комплексной переработки рудных песков // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2025. № 3 (169). С. 160-168. DOI: 10.26730/1999-4125-2025-3-160-168, EDN: NJJCSA

Введение. *Принцип электрического обогащения* (далее – электросепарации) основан на различии в электрических свойствах разделяемых частиц в электрическом поле. Суть метода заключается в том, что в электрическом поле частицы, имеющие разноименные (лучше, но не обязательно) электрические заряды, движутся по различным траекториям [1, 2].

Электрическое обогащение применяют для мелких (менее 5 мм) сухих, сыпучих материалов, обогащение которых другими методами недостаточно эффективно, экономически невыгодно или неприемлемо с экологической точки зрения [3, 4].

Электросепарация применяется для доводки черновых концентратов алмазных и редкометаллических руд: ильменит-циркониевых, танталонийобиевых, оловянно-вольфрамовых, редкоземельных, неметаллических полезных ископаемых [5], при переработке техногенного сырья [6, 7] и т. д. Также электрический метод можно применять для классификации сырья по крупности [8] и пылеулавливания.

К преимуществам электрической сепарации можно отнести относительно низкие эксплуатационные затраты, минимальный вред, наносимый окружающей среде (из всех сухих процессов при электрической сепарации наблюдается наименьшая запыленность воздуха). По своей селективности процесс не уступает флотации, за что его иногда образно называют «сухой флотацией».

Перспективность методов «сухого» обогащения различных видов сырья [9, 10] становится все более и более актуальной задачей, что объясняется прежде всего истощением и загрязнением водных ресурсов Земли. С каждым годом, с ростом населения планеты, увеличением промышленного производства эта проблема усугубляется. Электросепарация, как и другие сухие методы обогащения, позволяет эффективно утилизировать хвосты обогащения (не требуется устройство наливных хвостохранилищ). При флотации [11] и значительной части гравитационных процессов [12] используется достаточно большое количество жидкости, которую приходится удалять в ходе операций обезвоживания и сушки, что, бесспорно, увеличивает не только долю затрат на вспомогательные процессы в структуре себестоимости продукции [13], но и требует обеспечения человеческими, водными и энергетическими ресурсами [14, 15].

Для некоторых типов сырья электрическую сепарацию можно рассматривать в качестве основного передела, а для других – как способ получения попутной продукции товарного качества, удовлетворяющей требованиям различных потребителей [16]. Один из таких видов сырья – это рудные Ti-Zr пески. Типично такие рудные пески представлены тонкозернистым, сыпучим материалом серого и светло-серого цвета. Основная масса песков состоит из кварца и полевого шпата [17, 18]. Содержание рудных минералов – ильменита, рутила, циркона и т. д. – в сумме в исходных песках составляет ~ 3-4%. А содержание кварца и полевого шпата более 75%.

Кварц – один из самых распространенных минералов на земле. Этот минерал очень широко применяется в самых различных отраслях промышленности, а также в медицине. Особым видом кварца является кварц, пригодный для использования в оптике.

Требования к кварцевому сырью в большей степени определяются требованиями, предъявляемыми к оптическому стеклу (ГОСТ 15130-86 «Стекло кварцевое оптическое») и ГОСТ 22551-2019 «Песок кварцевый, молотые песчаник, кварцит и жильный кварц для стекольной промышленности». Основное требование к сырью для производства оптического стекла – минимальное содержание примесей (порядок содержания примесей 10^{-4}), а для некоторых видов изделий – практически полное отсутствие микровключений и минимум изоморфных примесей. Последнее требование крайне трудно обеспечить обогатительными методами и обычно оно обеспечивается переработкой исходного сырья, позволяющей эти требования соблюсти.

В природе кварц встречается в самых разнообразных формах. Особо чистые кварцевые пески являются весьма дорогостоящим сырьем, их месторождения входят в перечень запасов стратегического значения. В России месторождения кварца присутствуют в Карелии, на Урале, Алтае, в Сибири, на Кавказе и в других регионах.

Комплексная переработка [19] песков Ti-Zr россыпных месторождений с получением мономинеральных товарных концентратов стандартного качества позволяет попутно получать методом электрической сепарации кварцевый песок высокого качества, что является весьма перспективной и актуальной задачей, которая позволяет значительно повысить

экономическую привлекательность освоения россыпных месторождений титановых руд.

Новатором в области освоения промышленной электросепарации на территории бывшего СССР является институт Механобр.

Проведенные сотрудниками Механобра исследования продемонстрировали надежность и высокую эффективность работы электросепараторов. Развитие теории применения электрического метода обогащения и практического использования различных типов сепараторов достигнуто благодаря научно-исследовательским работам под руководством д.т.н., профессора, член-корр. АН СССР Ревнивцева В. И., к.т.н. Егорова Н. Ф., к.т.н. Месеняшина А. И. [20, 21] и других. Были проведены циклы НИР на различные темы: «Исследования по отделению неметаллических включений из массы жаропрочных никелевых гранул», «Совершенствование технологии обогащения кварцевого сырья с использованием электрического и электромагнитного сепараторов», «Исследование режимов и совершенствование электросепаратора СЭ-32/50 для очистки гранул никелевых сплавов» и т. д. Были определены оптимальные электрические и механические параметры электросепарации, разработаны и внедрены технологические линии на крупных предприятиях, получено большое количество патентов на изобретения, экономический эффект от внедрения составлял внушительные суммы, а область применения различных конструкций электросепараторов расширялась с каждым годом. Однако в условиях переходного периода экономики – мгновенно дорожающих энергоресурсов и фактического ее развала после 1991 года, – часть научно-исследовательских работ так и осталась без должного внимания и промышленного применения.

В настоящее время крупнейшими производителями ильменитовых концентратов за рубежом являются Австралия, Индия, США; рутиловых концентратов – ЮАР, Австралия (например, «Трейл-Рэдж» (США), «Zircon Rutile Ltd» (Циркон Рутайл Лимитед – Австралия). В странах СНГ промышленное производство титанового сырья осуществлялось на Украине на двух крупных предприятиях: Вольногорском горнометаллургическом комбинате (Днепропетровская область) и Иршинском горно-обогатительном комбинате (Житомирская область). Однако на данный момент зарубежный опыт и импортные сепараторы не могут быть применены по ряду непреодолимых как экономических, так и политических факторов.

Поэтому основным аппаратным оформлением, описанным в статье, стали сепараторы, производимые в России в НПК «Механобр-Техника» для исследований в области коронно-электрической сепарации [22, 23]. Классическая схема разделения материала на электросепараторе заключается в следующем:

1. подача нагретого исходного рудоподготовленного материала на заряженный вращающийся барабан;

2. разделение частиц по электропроводности, их движение по различным траекториям и попадание, соответственно, каждого продукта в свой сборник [1, 2].

Сепаратор ЭЛКОР-1 выдерживает температуру подаваемого питания до 125 °С, по

Таблица 1. Зависимость результатов сепарации от величины напряжения на коронирующем электроде
Table 1. Dependence of separation results on the voltage on the discharge electrode

Напряжение на коронирующем электроде, кВ	Наименование продукта	Выход продукта, %	Содержание примесей, $\cdot 10^{-3}\%$	Извлечение, %
12	Концентрат	52,3	12,81	27,26
	Хвосты	47,7	37,4	72,74
	Итого:	100,0	24,55	100,00
17	Концентрат	73,0	5,28	15,10
	Хвосты	27,0	80,3	84,90
	Итого:	100,0	25,52	100,00
20	Концентрат	85,7	0,43	1,44
	Хвосты	14,3	176,4	98,56
	Итого:	100,0	25,52	100,00
22	Концентрат	86,5	0,76	2,57
	Хвосты	13,5	183,6	97,43
	Итого:	100,0	25,53	100,00

ходу движения по вибропитателю руда охлаждается на 5-15 °С. Для интенсификации процесса сепарации в нем установлен специальный питатель-электризер, выполненный в виде алюминиевой трубки с виброприводом и нагревательным элементом. Такой питатель позволяет более эффективно заряжать частицы за счет более интенсивного трения частиц друг об друга и о внутреннюю поверхность питателя. Кроме того, такая конструкция позволяет рациональнее расходовать тепловую энергию. Была проведена серия исследований по комплексной переработке Ti-Zr песков, частью которых являлась сепарация кварца и полевого шпата на электросепараторах НПК «Механобр-Техника».

Целью исследований было получение кварцевых песков «стекольного» качества с использованием электрической сепарации. К стекольным пескам предъявляются достаточно высокие требования. Главное требование – минимальное содержание примесей.

Таблица 2. Зависимость результатов сепарации от температуры

Table 2. Dependence of separation results on temperature

Температура сушки, °С	Наименование продукта	Выход, %	Содержание, %	Извлечение, %
Без сушки	Концентрат	85,5	1,08	3,77
	Хвосты	14,5	162,73	96,23
	Итого:	100,0	24,49	100,00
105	Концентрат	93,6	0,42	1,63
	Хвосты	6,4	371,4	98,37
	Итого:	100,0	24,18	100,00
120	Концентрат	93,7	0,41	1,58
	Хвосты	6,3	381,2	98,42
	Итого:	100,0	24,36	100,00
150	Концентрат	93,7	0,44	1,68
	Хвосты	6,3	384,3	98,32
	Итого:	100,0	24,48	100,00

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Типовые данные, демонстрирующие зависимость результатов сепарации от величины подаваемого напряжения для предварительно обогащенного материала крупностью – 0,5 + 0,1 мм, приведены в Таблице 1. Полярность коронирующего электрода отрицательная. Опыты с положительной полярностью коронирующего электрода показали худшие результаты.

Типовые данные, демонстрирующие зависимость результатов сепарации от температуры сушки обогащенного материала крупностью – 0,5 + 0,1 мм, приведены в Таблице 2. Напряжение на коронирующем электроде 20 кВ.

Высокая эффективность попутного выделения кварцевого песка из титановых руд стала ключевым аспектом обеспечения рентабельности реализации проекта по добыче рудных песков и их обогащению на Туганском месторождении (Томская область РФ).

Стоит отметить, что гравитационно-электромагнитная схема обогащения рудных песков Туганского месторождения была разработана еще в 1991 году государственным научно-исследовательским и проектным институтом редкометаллической промышленности «ГИРЕДМЕТ» и включала в себя: операции дезинтеграции в скруббер-бутаре, грохочения в высокочастотных грохотах,

обесшламливания в гидроциклонах, гравитационного обогащения на винтовых сепараторах с получением черного коллективного концентрата и кварцевых песков. Кварцевые пески направлялись в цех стекольных песков, где производилась их мокрая магнитная сепарация, классификация в высокочастотных грохотах, обезвоживание и сушка стекольных песков. Черновой коллективный концентрат поступал на доводку в мокром магнитном сепараторе с выделением магнитной и немагнитной фракций. Магнитная фракция поступала на концентрацию на концентрационных столах, обезвоживание в ленточных вакуум-фильтрах и сушку в барабанных сушилах; доводка ее осуществлялась на участке электромагнитной сепарации в электростатических и магнитных сепараторах. Немагнитная фракция обогащалась гравитационными методами в винтовой спирали и на концентрационных столах, обезвоживалась, сушилась; доводилась на участке электромагнитной сепарации. В процессе обогащения рудных песков были получены основные товарные продукты: ильменитовый и цирконовый концентраты, стекольные кварцевые пески марки ВС050-1; попутные продукты – строительные и фракционированные пески. Уже в начальный период эксплуатации фабрики определились возможности и ограничения схемы обогащения в части получения товарных продуктов ильменитового и цирконового концентратов, а также качественных стекольных кварцевых песков и строительных кварцевых песков, удовлетворяющих требованиям рынка.

Рудные пески в силу особенностей вещественного состава содержат, кроме основных полезных минералов, широкий спектр сопутствующих минералов, образующих при обогащении промежуточные продукты, не имеющие контрастных технологических свойств. В связи с этим возникла необходимость расширения технологической схемы доводки с установкой дополнительных операций электростатических и магнитных перемешиваний при селективном разделении на мономинеральные концентраты. По результатам анализа содержаний продуктивных минералов и суммы минералов тяжелой фракции в исходных рудных песках, поступивших на обогащение, и соотношения продуктивных минералов и прочих в тяжелой фракции, можно сделать выводы:

– содержания тяжелой фракции в переработанных песках варьируются от 2,59% до 4,36%;

– содержания тяжелой фракции в переработанных песках варьируются от 2,59% до 4,36%;

– прочие минералы от суммы тяжелой цирконом

Таблица 3. Химический состав исследованных технологических проб Южно-Александровского участка Туганского месторождения

Table 3. Chemical composition of the studied technological samples of the Yuzhno-Aleksandrovsky area of the Tuganskoye field

Оксиды	Проба № Т-1	Проба № ТА-1
ZrO ₂	0,5	0,51
TiO ₂	2,12	2
SiO ₂	89,2	86
Al ₂ O ₃	3,01	4,8
Fe ₂ O ₃	1,39	1
MgO	0,23	0,12
MnO	0,09	0,09
CaO	0,45	0,1
Na ₂ O	0,07	0,16
K ₂ O	0,35	0,32
п.п.п.	1,6	4,9
P ₂ O ₅	0,09	
H ₂ O	0,9	

фракции составляют от 5,26% до 8,66%. эта цифра показывает количество прочих, в основном примесных минералов, ухудшающих качество концентратов [24].

Для дальнейших исследований брались наиболее представительные технологические пробы, соответствующие средним параметрам разведанных запасов рудных песков Туганского месторождения (химический состав и гранулометрическая характеристика приведены соответственно в Таблицах 3 и 4.

Исходные пески состоят на 77,4% из кварца и полевого шпата, которые являются основными породообразующими минералами технологической пробы. Тяжелая фракция состоит из ильменит-лейкоксен-цирконовой ассоциации минералов. Содержание основных полезных минералов от объема исходных песков

Таблица 4. Гранулометрическая характеристика исходных технологических проб песков (выход в отн. %) Table 4. Granulometric characteristics of the initial technological sand samples (yield in rel. %)

Класс крупности, мм	Проба № Т-1	Проба № ТА-1
+1,25	3,22	0,58
1.25+0.56	4,86	4,59
-0.56+0.25	4,93	3,65
-0.25+0.14	29,11	18,35
-0.14+0.1	30,75	32,09
-0.1+0.074	8,77	15,97
-0.074+0.044	4,25	6,09
-0,044+0	14,11	18,68
Итого	100,00	100,00

составляет: титановые минералы – 4,2% (ильменит – 1,97%, лейкоксен – 0,54%, рутил – 0,0987%), циркон – 0,67%. Соотношение между

и титановыми минералами в технологической пробе Т-1 Южно-Александровского участка 1:6,82 при соотношении между титановыми минералами: ильменит–75,63%, лейкоксен – 22,05%, рутил – 2,33%. Ильменит является одним из основных рудных минералов. Содержание ильменита и лейкоксенизированного ильменита в руде составляет 1,97%.

Результатом проведенных исследований по электросепарации кварцевых песков стало решение о строительстве первой очереди Туганского горно-обогатительного комбината, ввод в эксплуатацию которой произошел на 2021 год; в 2022 году с фабрики были отгружены первые партии товарных концентратов. В 2023 году ООО

«Объединенные урановые предприятия» (ООО «ОУП», входит в контур управления Горнорудного дивизиона Госкорпорации «Росатом»)/АО «Атомредметзолото») стало единственным акционером Акционерного общества «Туганский горно-обогатительный комбинат «Ильменит» (АО «ТГОК «Ильменит»), совершив сделку по приобретению 75-процентного пакета акций производителя титана и циркония.

Выводы

На протяжении длительного периода времени на территории Российской Федерации не проектировали и не строили горно-обогатительные предприятия по переработке россыпных месторождений титана по причине медленной окупаемости вложений. Внедрение

электростатической сепарации с целью попутного получения кварцевого песка позволило АО «ТГОК «Ильменит» существенно повысить экономическую привлекательность проекта, что привело к интенсификации его реализации. С точки зрения грамотного подхода к комплексному освоению недр пример АО «ТГОК «Ильменит» является показательным, т. к. позволяет получить максимальный эффект с точки зрения экономики и рационального природопользования. Он дает жизнь многим перспективным проектам, которым позволяет уверенно перейти из разряда дотационных, в рентабельные.

Кроме того, применение электросепарации существенно расширяет запасы стратегически значимого сырья благодаря возможности очистки

кварцевых песков, ранее считавшихся некондиционными.

Стоит отметить, что импортозамещение, столь необходимое в условиях нашей реальности, порождает необходимость исследования и разработки отечественных электросепараторов, что позволит в обозримом будущем внедрить электросепарацию для попутного извлечения полезных компонентов на многих месторождениях. Как и всякая область прикладной науки, создание отечественного оборудования электросепарации нуждается в актуализации бесценного научного опыта советских ученых. Такими исследованиями постоянно занимаются институты ВИМС, ИМГРЭ, Уралмеханобр, Русская Корона и т. д.

Современные технологии моделирования процессов обогащения позволяют разработать компьютерную модель процесса электросепарации, на основании которой возможно проведение опытно-конструкторских работ с целью создания прототипа современного электросепаратора отечественного образца. Работа по созданию подобной модели [25] ведется авторами данной статьи и, безусловно, станет темой дальнейших публикаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кармазин В. В., Кармазин В. И. Магнитные, электрические и специальные методы обогащения полезных ископаемых: Учебник для вузов. В 2 т. 3-е изд., стер. М.: издательство «Горная книга», 2017. Т. 1: Магнитные и электрические методы обогащения полезных ископаемых. 672 с.
2. Олофинский Н. Ф. Электрические методы обогащения. Изд. 4. М.: «Недра», 1977. 519 с.
3. Alekseenko V. A., Pashkevich M. A., Alekseenko A. V. Metallisation and environmental management of mining site soils // *Journal of Geochemical Exploration*. 2017. № 174. Pp. 121–127. DOI: 10.1016/j.gexplo.2016.06.010
4. Suprun I., Kuznetsov V. S., Ivanov A. V. Development of an engineer operation aimed at the reduction of atmospheric dust pollution in the decommissioning of iron-ore treatment waste // *Journal of Ecological Engineering*. 2019. № 20(4). Pp. 23–28. DOI: 10.12911/22998993/102612.
5. Argimbaev K. R., Ligotsky D. N., Loginov E. V. Bulldozer-based technology for open pit mining of limestone–dolomite deposits // *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2020. № Pp. 16–29. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-3-0-16-29.
6. Pashkevich M. A., Alekseenko A. V. Reutilization prospects of diamond clay tailings at the Lomonosov mine, Northwestern Russia // *Minerals*. 2020. № 10(6). P. 517. DOI: 10.3390/min10060517.
7. Lutskiy D. S., Litvinova T. E., Ignatovich A. S., Fialkovskiy I. S. Complex processing of phosphogypsum – a way of recycling dumps with reception of commodity production of wide application // *Journal of Ecological Engineering*. 2018. Vol. 19. Pp. 223–227.
8. Shishlyannikov D. I., Romanov V. A., Zvonarev I. E. Determination of the operating time and residual life of self-propelled mine cars of potassium mines on the basis integrated monitoring data // *Journal of Mining Institute*. 2019. № 237. Pp. 336–343. DOI: 10.31897/PMI.2019.3.336.
9. Dmitriev S. V., Kotova E. L., Mezenin A. O. The oshurkovskoye deposit apatite ore material composition and dry processing technology // *Obogashchenie Rud*. 2016. № 2. Pp. 9–13. DOI: 10.17580/or.2016.02.02
10. Vasilyeva M. A. Magnetic peristaltic pumps for backfill // *Eurasian mining*. 2019. № 1. Pp. 34–36. DOI: 10.17580/em.2019.01.08.
11. Yushina T. I., Petrov I. M., Chernyi S. A. On the export of mineral concentrates and the urgency of their advanced processing in Russia // *Obogashenie rud*. 2018. № 6. Pp. 52–58. DOI: 10.17580/or.2018.06.09.
12. Kuskov V. B., Vasilyev A. M. Regularities of fine-grained materials separation process on concentrating table // *Obogashchenie Rud*. 2017. № 3. Pp. 63–68. DOI: 10.17580/or.2017.03.10.
13. Kruk M. N., Guryleva N. S., Cherepovitsyn A. E., Nikulina A. Yu. Opportunities for improving the corporate social responsibility programs for metallurgical companies in the Arctic // *Non-ferrous Metals*. 2018. № 44(1). Pp. 3–6. DOI: 10.17580/nfm.2018.01.01.
14. Leonidovich Z. Y., Urievich V. B. The development and use of diagnostic systems and estimation of residual life in industrial electrical equipment // *International Journal of Applied Engineering Research*. 2015. № 10(20). Pp. 41150–41155.
15. Litvinenko V. S., Sergeev I. B. Innovations as a Factor in the Development of the Natural Resources Sector // *Studies on Russian Economic Development*. 2019. № 6. Pp. 637–645. DOI: 10.1134/S107570071906011X.
16. Sobota Jerzy, Malarev V.I., Kopteva A.V. Calculation of Oil-saturated Sand Soils' Heat Conductivity // *Journal of Mining Institute*. 2019. № 238 Pp. 443–449. DOI: 10.31897/pmi.2019.4.443.
17. Mardashov D., Islamov S., Nefedov Y. Specifics of well killing technology during well service operation in complicated conditions. [Detalhes da tecnologia de controle de poço durante a operação em condições complicadas] // *Periodico Tche Quimica*, 2020. № 17(34). Pp. 782–792.
18. Dashko R. E., Kotiukov P. V. Fractured clay rocks as a surrounding medium of underground structures: The features of geotechnical and hydrogeological assessment // *Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses*. 2018. № 1. Pp. 241–248.
19. Trushko V. L., Utkov V. A., Bazhin V. Y. Topicality and possibilities for complete processing

of red mud of aluminous production // Journal of Mining Institute. 2017. № 227. Pp. 443–449. DOI: 10.25515/pmi.2017.5.547.

20. Месеняшин А. И., Логачева Н. А. Электростатическая сепарация рудного и техногенного сырья // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2003. № 8. С. 167–170.

21. Месеняшин А. И., Логачева Н. А., Кравец И. М. Электростатическая сепарация минерального и техногенного сырья // Обогащение руд. 2005. № 6. С. 23–28.

22. Arsenyev V. A., Vaisberg L. A., Ustinov I. D. Trends in development of low-water-consumption technologies and machines for finely ground mineral materials processing // Obogashenie rud. 2014. № 5. Pp. 3–9.

23. Dmitriev S. V., Mezenin A. O., Bucharov M. I. The butkinsky mining and processing complex rougher concentrate flow sheet development with a view to produce marketable ilmenite product // Obogashenie rud. 2015. № 1. Pp. 14–17.

24. Дудинский Ф. В., Нечаев К. Б. Обоснование технологии освоения глубоких россыпей с управлением последовательностью развития горных работ // Вестник ИргТУ. 2015. № 6 (101).

25. Beloglazov I. I., Boikov A. V., Petrov P. A. Discrete element simulation of powder sintering for spherical particles // Key Engineering Materials. 2020. 854. Pp. 164–171. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.854.164.

© 2025 Авторы. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Устинова Яна Вадимовна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматизации технологических процессов и производств Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II, <https://orcid.org/0000-0002-4382-3301>, (СПГУ, Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Белоглазов Илья Ильич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматизации технологических процессов и производств Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II, <https://orcid.org/0000-0002-1224-2117>

Ракипов Антоний Сергеевич – руководитель по инжинирингу комплексных проектов АО «Северминералс»

Заявленный вклад авторов:

Устинова Яна Вадимовна – постановка исследовательской задачи, обзор соответствующей литературы, концептуализация исследования, сбор и анализ данных, обзор соответствующей литературы, выводы, написание текста.

Белоглазов Илья Ильич – концептуализация исследования, сбор и анализ данных.

Ракипов Антоний Сергеевич – научный менеджмент, разработка технологического регламента, работа в АО «Северминералс».

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

APPLICATION OF CORON-ELECTROSTATIC SEPARATION TO INCREASE THE LEVEL OF COMPLEX PROCESSING OF ORE SANDS

Yana V. Ustinova¹, Ilya I. Beloglazov¹,
Antony S. Rakipov²

¹ Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University

² Severminerals AC,

* for correspondence: kuskova_yav@pers.spmi.ru



Abstract.

About 65% of global production of titanium concentrates is based on the processing of alluvial ores and only 35% on the processing of ores from

Article info

Received:

16 October 2024

Accepted for publication:

10 June 2025

Accepted:

20 June 2025

Published:

26 June 2025

Keywords: dry method of mineral processing; electrostatic separation; integrated ore processing technology; ore sands; ore dressing process modeling.

primary deposits. As a rule, the process of alluvial enrichment is carried out in two stages. The first stage consists of primary gravity concentration, which produces a rough collective concentrate. The second stage consists in selection (finishing) of the said collective concentrate by methods of magnetic and electric separation to obtain separate rutile, ilmenite, zircon, monazite, distensillimanite, staurolite and other concentrates. In this article technological substantiation of combined technology of processing of titanium-zirconium sands of Tuganskoye deposit is given. Studies of material composition and enrichment of placers have been carried out. The purpose of researches was to obtain quartz sands of "glass" quality with the use of electric separation. The requirements for glass sands are quite high. The main requirement is the minimum content of impurities. The object of research was ore sands of Tuganskoye deposit from which ilmenite, rutile-leucoxene and zircon concentrates are obtained. In 2006 at CJSC "Tugansk Mining and Processing Plant "Ilmenit" was organized pilot production for integrated processing of ilmenite-zircon sands of the South-Alexandrovsky area of the Tuganskoye deposit. Its development was completed in 2016 with the decision to design and subsequently build a larger capacity industrial plant. The high efficiency of the associated extraction of quartz sand from titanium ores has become a key aspect of ensuring the profitability of the project for ore sands mining and beneficiation at the Tuganskoye deposit. This paper shows the possibility of using corona-electric separation to obtain commercial quartz concentrates. The necessity of further research and modeling of electrostatic separation in high-tech apparatuses of domestic production was determined.

For citation: Ustinova Ya.V., Beloglazov I.I., Rakipov A.S. Application of coron-electrostatic separation to increase the level of complex processing of ore sands. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*=Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2025; 3(169):160-168. (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1999-4125-2025-3-160-168, EDN: NJJCSA

REFERENCES

1. Karmazin V.V., Karmazin V.I. Magnetic, electrical and special methods of mineral processing: Textbook for universities. In 2 vol. - 3rd ed., revised. Moscow: publishing house "Gornaya kniga"; 2017. Vol. 1: Magnetic and electrical methods of mineral processing. 672 c.
2. Olofinsky N.F. Electric methods of enrichment. Izd. 4. M.; "Nedra", 1977. 519 c.
3. Alekseenko V.A., Pashkevich M.A., Alekseenko A.V. Metallisation and environmental management of mining site soils. *Journal of Geochemical Exploration*. 2017; 174:121–127. DOI: 10.1016/j.gexplo.2016.06.010.
4. Suprun I., Kuznetsov V.S., Ivanov A.V. Development of an engineer operation aimed at the reduction of atmospheric dust pollution in the decommissioning of iron-ore treatment waste. *Journal of Ecological Engineering*. 2019; 20(4):23–28. DOI: 10.12911/22989993/102612.
5. Argimbaev K.R., Ligotsky D.N., Loginov E.V. Bulldozer-based technology for open pit mining of limestone-dolomite deposits. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2020; 3:16–29. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-3-0-16-29.
6. Pashkevich M.A., Alekseenko A.V. Reutilization prospects of diamond clay tailings at the Lomonosov mine, Northwestern Russia. *Minerals*. 2020; 10(6):517. DOI: 10.3390/min10060517.
7. Lutskiy D.S., Litvinova T.E., Ignatovich A.S., Fialkovskiy I.S. Complex processing of phosphogypsum – a way of recycling dumps with reception of commodity production of wide application. *Journal of Ecological Engineering*. 2018; 19:223–227.
8. Shishlyannikov D.I., Romanov V.A., Zvonarev I.E. Determination of the operating time and residual life of self-propelled mine cars of potassium mines on the basis integrated monitoring data. *Journal of Mining Institute*. 2019; 237:336–343. DOI: 10.31897/PMI.2019.3.336.
9. Dmitriev S.V., Kotova E.L., Mezenin A.O. The oshurkovskoye deposit apatite ore material composition and dry processing technology. *Obogashchenie Rud*. 2016; 2:9–13. DOI: 10.17580/or.2016.02.02
10. Vasilyeva M.A. Magnetic peristaltic pumps for backfill. *Eurasian mining*. 2019; 1:34–36. DOI: 10.17580/em.2019.01.08.
11. Yushina T.I., Petrov I.M., Chernyi S.A. On the export of mineral concentrates and the urgency of their advanced processing in Russia. *Obogashchenie rud*. 2018; 6:52–58. DOI: 10.17580/or.2018.06.09.
12. Kuskov V.B., Vasilyev A.M. Regularities of fine-grained materials separation process on concentrating table. *Obogashchenie Rud*. 2017; 3:63–68. DOI: 10.17580/or.2017.03.10.
13. Kruk M.N., Guryleva N.S., Cherepovitsyn A.E., Nikulina A.Yu. Opportunities for improving the corporate social responsibility programs for

metallurgical companies in the Arctic. *Non-ferrous Metals*. 2018; 44(1):3–6. DOI: 10.17580/nfm.2018.01.01.

14. Leonidovich Z.Y., Urievich V.B. The development and use of diagnostic systems and estimation of residual life in industrial electrical equipment. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2015; 10(20):41150–41155.

15. Litvinenko V.S., Sergeev I.B. Innovations as a Factor in the Development of the Natural Resources Sector, Studies on Russian Economic Development, 2019; 6(30):637–645. DOI: 10.1134/S107570071906011X.

16. Sobota Jerzy, Malarev V.I., Kopteva A.V. Calculation of Oil-saturated Sand Soils' Heat Conductivity. *Journal of Mining Institute*. 2019; 238:443–449. DOI: 10.31897/pmi.2019.4.443.

17. Mardashov D., Islamov S., Nefedov Y. Specifics of well killing technology during well service operation in complicated conditions. [Detalhes da tecnologia de controle de poço durante a operação em condições complicadas]. *Periodico Tche Química* 2020; 17(34):782–792.

18. Dashko R.E., Kotiukov P.V. Fractured clay rocks as a surrounding medium of underground structures: The features of geotechnical and hydrogeological assessment. *Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses* 2018; 1:241–248.

19. Trushko V.L., Utkov V.A., Bazhin V.Y. Topicality and possibilities for complete processing of

red mud of aluminous production. *Journal of Mining Institute*. 2017; 227:443–449. DOI: 10.25515/pmi.2017.5.547.

20. Mesenyashin A.I., Logacheva N.A. Electrostatic separation of ore and technogenic raw materials, *Gorny informational and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2003; 8:167–170.

21. Mesenyashin A.I., Logacheva N.A., Kravets I.M. Electrostatic separation of mineral and technogenic raw materials. *Obogashenie rud*. 2005; 6:23–28.

22. Arsentyev V.A. Vaisberg L.A., Ustinov I.D. Trends in development of low-water-consumption technologies and machines for finely ground mineral materials processing. *Obogashenie rud*. 2014; 53–9.

23. Dmitriev S.V., Mezenin A.O., Bucharov M.I. The butkinsky mining and processing complex rougher concentrate flow sheet development with a view to produce marketable ilmenite product. *Obogashenie rud*. 2015; 1:14–17.

24. Dudinsky F.V., Nechaev K.B. Justification of the technology and technology of deep placer development with management of the sequence of mining operations development. *Bulletin of IrGTU*. 2015; 6(101).

25. Beloglazov I.I., Boikov A.V., Petrov P.A. Discrete element simulation of powder sintering for spherical particles. *Key Engineering Materials*. 2020; 854:164–171.

DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.854.164

© 2025 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the authors:

Yana V. Ustinova – PhD (technical sciences), associate professor, associate professor of the department of automation of technological processes and production of St. Petersburg Mining University of Empress Catherine II, <https://orcid.org/0000-0002-4382-3301>, (St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russian Federation).

Ilya I. Beloglazov – PhD (technical sciences), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automation of technological processes and production of St. Petersburg Mining University of Empress Catherine II, <https://orcid.org/0000-0002-1224-2117>.

Antoni S. Rakipov – Head of Complex Project Engineering.

Contribution of the authors:

Yana V. Ustinova research problem statement; reviewing the relevant literature; conceptualisation of research, reviewing the relevant literature, writing the text.

Ilya I. Beloglazov – scientific management, data collection, data analysis.

Antoni S. Rakipov – drawing the conclusions.

All authors have read and approved the final manuscript.

