

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ
№ 2859985

**СПОСОБ ИЗВЛЕЧЕНИЯ СТРАТЕГИЧЕСКИХ
МЕТАЛЛОВ ИЗ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II" (RU)*

Авторы: *Александрова Татьяна Николаевна (RU), Николаева Надежда Валерьевна (RU), Афанасова Анастасия Валерьевна (RU), Лушина Екатерина Александровна (RU)*

Заявка № **2025116424**

Приоритет изобретения **16 июня 2025 г.**
Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации **14 апреля 2026 г.**
Срок действия исключительного права
на изобретение истекает **16 июня 2045 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Ю.С. Зубов





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

B09B 3/00 (2026.01); B03C 1/00 (2026.01); B03D 1/00 (2026.01)

(21)(22) Заявка: 2025116424, 16.06.2025

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
16.06.2025Дата регистрации:
14.04.2026

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 16.06.2025

(45) Опубликовано: 14.04.2026 Бюл. № 11

Адрес для переписки:

199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, 2,
ФГБОУ ВО "Санкт-Петербургский горный
университет императрицы Екатерины II",
Патентно-лицензионный отдел

(72) Автор(ы):

Александрова Татьяна Николаевна (RU),
Николаева Надежда Валерьевна (RU),
Афанасова Анастасия Валерьевна (RU),
Лушина Екатерина Александровна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования "Санкт-Петербургский горный
университет императрицы Екатерины II"
(RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2529901 C2, 10.10.2014. SU
1711972 A1, 15.02.1992. RU 2426693 C2,
20.08.2011. CN 101234366 A, 06.08.2008. RU
2799552 C1, 06.07.2023. SU 956022 A, 07.09.1982.
Толковый словарь русского языка с
включением сведений о происхождении слов.
РАН. Институт русского языка им. В.В.
Виноградова, отв. ред. Н.Ю. Шведова. - М.,
"Азбуковник", 2011 - 1175 с., (см. прод.)

(54) СПОСОБ ИЗВЛЕЧЕНИЯ СТРАТЕГИЧЕСКИХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ

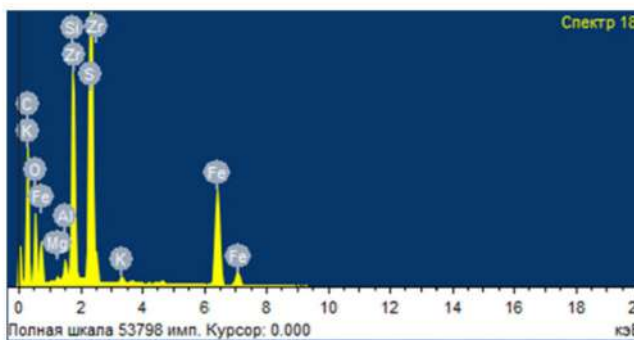
(57) Реферат:

Изобретение относится к горнодобывающей промышленности. Способ извлечения стратегических металлов из техногенного сырья характеризуется тем, что включает поступление техногенного сырья, содержащего оксиды железа, алюминия, титана, редких и редкоземельных металлов на измельчение до крупности менее 100 мкм, после чего измельченный продукт направляют на магнитную сепарацию в слабом магнитном поле, в результате магнитной сепарации в слабом магнитном поле получают первый магнитный концентрат, содержащий минералы железа, связанные с интерметаллидами, который направляют на последующую металлургическую переработку, и немагнитную фракцию, которая содержит активный углерод,

железо, алюминий, редкие и редкоземельные металлы, немагнитная фракция поступает на предварительную обработку гидролизированным полиакриламидом (ГПАА) с расходом от 150 до 200 г/т в контактном чане, за счет такой обработки в процессе высокоградиентной магнитной сепарации образуются частицы минералов железа, содержащие тантал, ниобий, титан, алюминий, обработанный материал подают на высокоградиентную магнитную сепарацию, которую проводят при значении индукции магнитного поля 1,1 Тл, во время поступления в сепаратор обработанного материала процесс агрегации дополнительно активируют воздействием магнитного поля, в магнитном поле частицы минералов железа

намагничиваются и становятся магнитными центрами, притягивая минералы, содержащие тантал, ниобий, титан, алюминий, в результате высокоградиентной магнитной сепарации получают второй магнитный концентрат, содержащий магнитные, алюмосиликатные частицы размером от 2 до 15 мкм, а также редкие и редкоземельные элементы, который отправляют на металлургический передел, и немагнитную фракцию, немагнитная фракция поступает на углеродистую флотацию с предварительным кондиционированием с реагентом-собирателем, в качестве собирателя используется эмульсия

аполярного собирателя в ПАВ концентрацией 1 % и расходом от 150 до 200 г/т, после углеродистой флотации получают флотационный концентрат, содержащий редкоземельные металлы, такие как La, Ce, Nd, так и Zr, который также отправляют на последующую металлургическую переработку, и хвосты углеродистой флотации, которые являются отвальным продуктом. Изобретение позволяет повысить эффективность извлечения ценных компонентов, таких как железо, алюминий, титан, редкие и редкоземельные металлы из техногенного сырья. 6 ил., 2 табл., 1 пр.



Фиг.6

(56) (продолжение):
с. 136-137.

RU 2 8 5 9 9 8 5 C 1

RU 2 8 5 9 9 8 5 C 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
B09B 3/00 (2006.01)
B03C 1/00 (2006.01)
B03D 1/00 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

B09B 3/00 (2026.01); B03C 1/00 (2026.01); B03D 1/00 (2026.01)(21)(22) Application: **2025116424, 16.06.2025**(24) Effective date for property rights:
16.06.2025Registration date:
14.04.2026

Priority:

(22) Date of filing: **16.06.2025**(45) Date of publication: **14.04.2026** Bull. № 11

Mail address:

**199106, Sankt-Peterburg, V.O., 21 liniya, 2, FGBOU
VO "Sankt-Peterburgskij gornyj universitet
imperatritsy Ekateriny II", Patentno-litsenziornyj
otdel**

(72) Inventor(s):

**Aleksandrova Tatiana Nikolaevna (RU),
Nikolaeva Nadezhda Valerevna (RU),
Afanasova Anastasiia Valerevna (RU),
Lushina Ekaterina Aleksandrovna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe biudzhethnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniia «Sankt-Peterburgskii gornyi
universitet imperatritsy Ekateriny II» (RU)**

(54) **METHOD FOR EXTRACTING STRATEGIC METALS FROM TECHNOGENIC RAW MATERIALS**

(57) Abstract:

FIELD: mining industry.

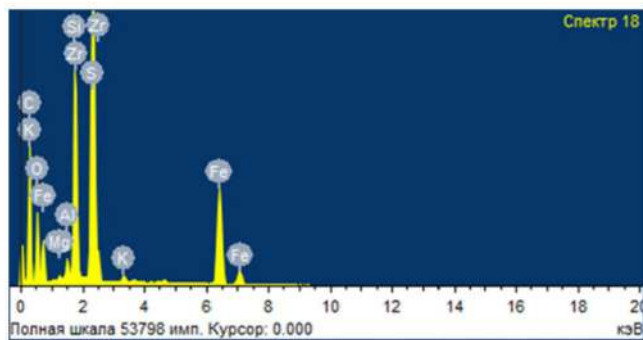
SUBSTANCE: method for extracting strategic metals from technogenic raw materials is characterised by comprising feeding technogenic raw materials containing iron, aluminium, titanium, rare and rare earth metal oxides for grinding to a particle size of less than 100 μm, after which the ground product is sent to magnetic separation in a weak magnetic field, as a result of magnetic separation in a weak magnetic field, a first magnetic concentrate containing iron minerals associated with intermetallic compounds is obtained, which is sent for subsequent metallurgical processing, and a non-magnetic fraction, which contains activated carbon, iron, aluminium, rare and rare earth metals, the non-magnetic fraction is sent for pretreatment with hydrolysed polyacrylamide (HPAA) at a consumption of 150 to 200 g/t in a contact tank, due to such treatment, during high-gradient magnetic separation, particles of iron minerals containing tantalum, niobium, titanium, aluminium are formed, the treated material is fed to high-gradient magnetic separation, which is carried out at a magnetic field induction value of 1.1 T,

during the supply of the treated material to the separator, the aggregation process is additionally activated by exposure to a magnetic field, in the magnetic field, the iron mineral particles become magnetised and become magnetic centres, attracting minerals containing tantalum, niobium, titanium, aluminium, as a result of high-gradient magnetic separation, a second magnetic concentrate containing magnetic, aluminosilicate particles with a size of 2 to 15 μm, as well as rare and rare earth elements, is obtained, which is sent for metallurgical processing, and a non-magnetic fraction, the non-magnetic fraction is sent to carbon flotation with preliminary conditioning with a collector reagent, an emulsion of a non-polar collector in a surfactant with a concentration of 1% and a consumption of 150 to 200 g/t is used as a collector, after carbon flotation, a flotation concentrate containing rare earth metals such as La, Ce, Nd, as well as Zr, is obtained, which is also sent for subsequent metallurgical processing, and carbon flotation tailings, which are a waste product.

EFFECT: increasing the efficiency of extracting valuable components such as iron, aluminium, titanium,

rare and rare earth metals from technogenic raw materials.

1 cl, 6 dwg, 2 tbl, 1 ex



Фиг.6

R U 2 8 5 9 9 8 5 C 1

R U 2 8 5 9 9 8 5 C 1

Изобретение относится к горнодобывающей промышленности и может быть использовано для извлечения стратегических металлов (железа, алюминия, титана, редких и редкоземельных элементов) из низкокачественного углеродсодержащего сырья различного генезиса, в том числе при обогащении и переработке техногенных месторождений.

Известен способ выщелачивания металлов из упорных углистых руд (варианты) (патент RU №2635582 опубликован 14.11.2017 г.), который включаетglomерацию руды, разделенной на три порции, разными активированными растворами: сернокислотно-озонидно-перекисным, азотнокисло-перекисным и пероксидно-карбонатным. Активация растворов производится фото- и электрохимически. После смешения агломерированных порций формируется штабель, выдерживаемый 5 суток для окисления углистого вещества и сульфидных минералов. Далее штабель орошают активированным пероксидно-карбонатным раствором, а затем раствором с комплексообразователем для благородных металлов и вольфрама.

Недостатками способа являются необходимость обработки материала концентрированными растворами реагентов при высоком расходе, а также низкая экологичность предложенного решения.

Известен способ переработки золошлаковых отходов из отвалов системы гидрозолоудаления тепловых электростанций с целью получения кондиционных зольных продуктов и кондиционный зольный продукт (патент RU №2700612 опубликован 18.09.2019 г.), включающий заготовку сырья - золошлаковых смесей естественной влажности - из отработанной и осушенной секции золошлакоотвала ТЭС, при необходимости механическое обезвоживание сырья, сушку сырья, реактивацию золошлакового материала и доведение его до кондиционных свойств путем магнитной сепарации золошлаковой смеси для извлечения не менее 90% магнитных включений и складирования их для утилизации как отдельного продукта, термообработки золошлаковой смеси, возгонки щелочей с последующим их удалением отходящими печными газами, резкого охлаждения термообработанной золошлаковой смеси, выгружаемой с горячего конца печи, двухуровневой дисперсной системой, с помощью которой создается аэрогидродинамическое распыление золошлаковой смеси, помола совместно с известняком, негашеной известью и гашеной известью, сепарации по фракциям.

Недостатком способа является то, что применение данного способа возможно только на кислой золе, что не позволяет вовлекать в переработку золошлаковые отходы другого состава.

Известен способ переработки низкокальциевых золошлаковых отходов ТЭЦ с высоким содержанием недогоревших угольных частиц с последующим применением золошлаковых отходов ТЭЦ при производстве строительных материалов и в строительстве (патент RU №2607555 опубликован 10.01.2017 г.), который включает грануляцию золошлаковых отходов ТЭЦ со связующим и сушку гранул. Дополнительно перед грануляцией при содержании в золошлаковых отходах ТЭЦ менее 15 мас.% недогоревших угольных частиц в золошлаковую смесь вводят молотый уголь в количестве, обеспечивающем получение теплотворной способности золошлаковой смеси в пределах 6,3 - 7,5 кДж/кг. Перед грануляцией золошлаковой смеси при жидкой консистенции золошлаковых отходов ТЭЦ из системы гидрозолоудаления или из золоотвала названные отходы обезвоживают до остаточной влажности не более 30% с возвратом осветленной воды на ТЭЦ, удаление недогоревших угольных частиц осуществляют путем обжига гранул золошлаковой смеси при температуре 850 - 900°C

в котле кипящего слоя с выжиганием угольных частиц золошлаковой смеси до остаточного количества не более 1 мас.% и утилизацией тепла на ТЭЦ или у других потребителей.

5 Недостатками способа являются низкая универсальность способа из-за возможности вовлечения в переработку только золошлаковых отходов определенного минералогического состава высоким содержанием недогоревших угольных частиц.

Известен способ бактериального выщелачивания редкоземельных и благородных металлов из золошлаков (патент RU №2580258, опубликован 10.04.2016 г.), включающий смешение золошлаковых отходов с выщелачивающими растворами, накопление 10 биомассы микроорганизмов рода Acidithiobacillales, бактериальное выщелачивание редкоземельных и благородных металлов, разделение полученной суспензии на осадок и осветленную жидкость и выделение из последней редкоземельных и благородных металлов. Перед выделением металлов в осветленную жидкость добавляют флотоконцентрат активного ила, используемого в течение от 1 до 600 минут после его 15 получения, в объемном соотношении осветленная жидкость : флотоконцентрат активного ила соответственно 1:(0,1 - 1,5).

Недостатком способа является извлечение не всех ценных компонентов из золошлакового сырья, сложность обеспечения жизнедеятельности бактерий и поддержания оптимальных условий особенно в сложных климатических условиях.

20 Известен способ извлечения алюминия и железа из золошлаковых отходов (патент RU №2436855 опубликован 20.12.2011 г), включающий обработку раствором серной кислоты с экстракцией алюминийсодержащих компонентов в раствор. Перед экстракцией алюминийсодержащих компонентов в раствор отходы подвергают классификации и многостадийной магнитной сепарации при периодическом увеличении поля магнитной 25 индукции для полного выделения магнитной фракции, содержащей железо.

Недостатками являются низкая селективность извлечения ценных компонентов, а также использование серной кислоты негативно сказывается на экологии региона размещения золошлаковых отходов.

30 Известен способ переработки золошлаковых материалов угольных электростанций (патент RU №2529901, опубликован 10.10.2014 г.), принятый за прототип, который включает гидравлическую классификацию золошлаковых материалов по классу 45 мкм с получением двух фракций: +45 мкм и слабomagнитную фракцию -45 мкм, фракцию +45 подвергают магнитной сепарации с получением магнитного концентрата и хвостов магнитной сепарации, хвосты магнитной сепарации подвергают флотации с получением 35 углеродного концентрата и хвостов флотации, хвосты флотации с классификацией меньше 45 мкм и слабomagнитную фракцию -45 объединяют в общую фракцию с последующим растворением общей фракции в растворе гидроксида натрия, разделением полученной пульпы на кек, обогащенный глиноземом, и раствор силиката натрия, после чего кек перерабатывают на глинозем, а раствор силиката натрия регенерируют 40 известью.

Недостатками способа являются необходимость утилизации или регенерации раствора силиката натрия, что усложняет технологическую схему переработки и оказывает дополнительное негативное влияние на окружающую среду.

45 Техническим результатом является повышение эффективности извлечения ценных компонентов, таких как железа, алюминия, титана, редких и редкоземельных металлов из техногенного сырья.

Технический результат достигается тем, что включает поступление техногенного сырья, содержащего оксиды железа, алюминия, титана, редких и редкоземельных

металлов на измельчение до крупности менее 100 мкм, после чего измельченный продукт направляют на магнитную сепарацию в слабом магнитном поле, в результате магнитной сепарации в слабом магнитном поле получают первый магнитный концентрат, содержащий минералы железа, связанные с интерметаллидами, который направляют на последующую металлургическую переработку, и немагнитную фракцию, которая содержит активный углерод, железо, алюминий, редкие и редкоземельные металлы, немагнитная фракция поступает на предварительную обработку гидролизованным полиакриламидом (ГПАА) с расходом от 150 до 200 г/т в контактном чане, за счет такой обработки в процессе высокоградиентной магнитной сепарации образуются частицы минералов железа, содержащие тантал, ниобий, титан, алюминий, обработанный материал подают на высокоградиентную магнитную сепарацию, которую проводят при значении индукции магнитного поля 1,1 Тл, во время поступления в сепаратор обработанного материала процесс агрегации дополнительно активируют воздействием магнитного поля, в магнитном поле частицы минералов железа намагничиваются и становятся магнитными центрами, притягивая минералы, содержащие тантал, ниобий, титан, алюминий, в результате высокоградиентной магнитной сепарации получают второй магнитный концентрат, содержащий магнитные, алюмосиликатные частицы размером от 2 до 15 мкм, а также редкие и редкоземельные элементы, который отправляют на металлургический передел, и немагнитную фракцию, немагнитная фракция поступает на углеродистую флотацию с предварительным кондиционированием с реагентом-собирателем, в качестве собирателя используется эмульсия аполярного собирателя в ПАВ концентрацией 1 % и расходом от 150 до 200 г/т, после углеродистой флотации получают флотационный концентрат, содержащий редкоземельные металлы, такие как La, Ce, Nd, так и Zr, который также отправляют на последующую металлургическую переработку, и хвосты углеродистой флотации, которые являются отвальным продуктом.

Способ извлечения стратегических металлов из техногенного сырья поясняется следующими фигурами:

фиг. 1 - технологическая схема способа.

фиг. 2 - схема образования «мягких» магнитных флокул.

фиг. 3 - изображение флотационного концентрата, содержащего редкие и редкоземельные металлы, под электронным микроскопом.

фиг. 4 - энергетический спектр с пиковым распределением элементов флотационного концентрата, содержащего редкие и редкоземельные металлы.

фиг. 5 - изображение под электронным микроскопом флотационного концентрата, содержащего оксид циркония.

фиг. 6 - энергетический спектр с пиковым распределением элементов концентрата, содержащего оксид циркония.

Реализация способа осуществляется следующим образом. Техногенное сырье, содержащее оксиды железа, алюминия, титана, редких и редкоземельных металлов поступает на измельчение до крупности менее 100 мкм, после чего измельченный продукт направляется на магнитную сепарацию в слабом магнитном поле (фиг. 1). В результате магнитной сепарации в слабом магнитном поле получают первый магнитный концентрат, содержащий высокомагнитные минералы железа, связанные с интерметаллидами, который направляется на последующую металлургическую переработку, и немагнитную фракцию, которая содержит активный углерод, железо, алюминий, железо, редкие и редкоземельные металлы. Немагнитная фракция поступает на предварительную обработку гидролизованным полиакриламидом (ГПАА) с расходом

от 150 до 200 г/т в контактном чане. За счет такой обработки в процессе высокоградиентной магнитной сепарации образуются «мягкие» магнитные флоккулы (фиг. 2). В процессе добавления гидролизованного полиакриламида происходит подкисление раствора, что приводит к образованию коагулянтных микрокластеров полимера за счет снижения электростатического отталкивания между его цепями. Обработанный материал подается на высокоградиентную магнитную сепарацию, которую проводят при значении индукции магнитного поля 1,1 Тл. Во время поступления в сепаратор обработанной пульпы процесс агрегации дополнительно активизируется воздействием магнитного поля. В магнитном поле частицы минералов железа намагничиваются и становятся магнитными центрами, притягивая минералы, содержащие тантал, ниобий, титан, алюминий и др. При этом гидролизованный полиакриламид образует мостиковые связи между микроагрегатами и формирует крупные флоккулы. В результате высокоградиентной магнитной сепарации получают второй магнитный концентрат, содержащий магнитные, алюмосиликатные частицы размером от 2 до 15 мкм, а также редкие и редкоземельные элементы, который отправляется на металлургический передел, и немагнитную фракцию. Содержание органической составляющей в немагнитной фракции составляет более 9 %. Активный углерод обладает высокой пористостью и большим удельным поверхностным объемом и может выступать в качестве сорбента для ценных компонентов. Немагнитная фракция поступает на углеродистую флотацию с предварительным кондиционированием с реагентом-собирателем. В качестве собирателя используется эмульсия аполярного собирателя в ПАВ концентрацией 1 % и расходом от 150 до 200 г/т. После углеродистой флотации получают флотационный концентрат, содержащий редкоземельные металлы, такие как La, Ce, Nd, так и Zr, который также отправляется на последующую металлургическую переработку, и хвосты углеродистой флотации, которые являются отвальным продуктом.

Способ поясняется следующим примером. Переработке подвергаются золошлаковые отходы ТЭЦ для комплексного извлечения ценных компонентов. В состав золошлаковых отходов кроме недожога входят такие ценные компоненты как Fe, Si, Ti, Al, Ni, Mo, V, Zr и др.

Золошлаковые отходы ТЭЦ поступают на измельчение в шаровую мельницу до крупности крупностью 90 % менее 80 мкм, которая работает в замкнутом цикле с гидроциклоном. Измельченный материал поступает на магнитную сепарацию в слабом поле для извлечения железосодержащих частиц (крупностью от 20 до 80 мкм) с высокой магнитной восприимчивостью. В результате получают две фракции: магнитная фракция, которая является железорудным концентратом и может быть использована в металлургической промышленности, и немагнитная фракция. Немагнитная фракция является источником железа (слабомагнитного), алюминия и редких и редкоземельных металлов. Для их извлечения немагнитная фракция после первой стадии магнитной сепарации подвергается обработке ГПАА с расходом от 150 до 200 г/т в контактном чане. Применение флокулянта на стадии магнитной сепарации позволяет повысить извлечение ценных компонентов. При воздействии магнитного поля высокой интенсивности (1,1 Тл) и совместном использовании флокулянтов и магнитных частиц происходит интенсификация процесса гетерофлокуляции, за счет связывания тонкодисперсных частиц молекулами флокулянта и образования «мягких» флокул вокруг магнитных центров за счет селективного действия реагента. Все это приводит к увеличению степени магнитной восприимчивости магнитных флокул в исходном материале. После высокоградиентной магнитной сепарации получают магнитную фракцию, в

которую извлекаются слабомагнитные минералы железа, а также могут извлекаться минералы никеля, меди, титана, ванадия, и немагнитная фракция, которая содержит редкие и редкоземельные металлы (табл. 1). Магнитная фракция может быть использована в металлургическом производстве.

5 Таблица 1 - Результаты обогащения в золошлаковых отходах с использованием высокоградиентной магнитной сепарации

Обогащение при индукции магнитного поля 1,1 Тл														
Наименование продукта	Выход, %	Содержание, %												
		Fe	Si	S	As	Ca	Sb	K	Mn	Zn	Cu	Ni	Sr	Zr
10 Магнитная фракция	60,02	30,632	16,581	2,132	1,807	3,398	1,609	0,672	0,161	0,031	0,039	0,030	0,009	0,003
Немагнитная фракция	39,98	27,673	14,711	3,297	5,908	3,216	2,593	1,157	0,218	0,135	0,119	0,042	0,016	0,018
Итого	100,00	29,449	15,833	2,598	3,447	3,325	2,002	0,866	0,184	0,073	0,071	0,035	0,012	0,009
Наименование продукта	Выход, %	Извлечение, %												
		Fe	Si	S	As	Ca	Sb	K	Mn	Zn	Cu	Ni	Sr	Zr
15 Магнитная фракция	60,02	62,43	62,86	49,26	31,47	61,34	48,24	46,59	52,54	25,93	32,98	51,49	45,52	19,48
Немагнитная фракция	39,98	37,57	37,14	50,74	68,53	38,66	51,76	53,41	47,46	74,07	67,02	48,51	54,48	80,52
Итого	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Обогащение при индукции магнитного поля 1,1 Тл с дополнительной обработкой ГПАА - 100 г/т														
Наименование продукта	Выход, %	Содержание, %												
		Fe	Si	S	As	Ca	Sb	K	Mn	Zn	Cu	Ni	Sr	Zr
20 Магнитная фракция	61,69	31,206	16,540	2,309	1,874	3,500	1,963	0,710	0,175	0,038	0,042	0,04	0,010	0,005
Немагнитная фракция	38,31	26,619	14,695	3,064	5,980	3,044	2,064	1,117	0,196	0,128	0,117	0,027	0,014	0,016
25 Итого	100,00	29,449	15,833	2,598	3,447	3,325	2,002	0,866	0,183	0,073	0,071	0,035	0,012	0,009
Наименование продукта	Выход, %	Извлечение, %												
		Fe	Si	S	As	Ca	Sb	K	Mn	Zn	Cu	Ni	Sr	Zr
30 Магнитная фракция	61,69	65,37	64,44	54,82	33,54	64,92	60,50	50,58	59,05	32,60	36,70	70,50	54,65	33,85
Немагнитная фракция	38,31	34,63	35,56	45,18	66,46	35,08	39,50	49,42	40,95	67,40	63,30	29,50	45,35	66,15
Итого	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Обогащение при индукции магнитного поля 1,1 Тл с дополнительной обработкой ГПАА - 150 г/т														
Наименование продукта	Выход, %	Содержание, %												
		Fe	Si	S	As	Ca	Sb	K	Mn	Zn	Cu	Ni	Sr	Zr
35 Магнитная фракция	65,82	40,871	15,491	1,712	2,136	3,967	2,172	0,761	0,203	0,060	0,091	0,046	0,011	0,007
Немагнитная фракция	34,18	7,454	16,491	4,304	5,971	2,088	1,674	1,067	0,147	0,097	0,032	0,014	0,014	0,013
Итого	100,00	29,449	15,833	2,598	3,447	3,325	2,002	0,866	0,184	0,073	0,071	0,035	0,012	0,009
Наименование продукта	Выход, %	Извлечение, %												
		Fe	Si	S	As	Ca	Sb	K	Mn	Zn	Cu	Ni	Sr	Zr
40 Магнитная фракция	65,82	91,35	64,40	43,37	40,79	78,53	71,42	57,86	72,71	54,38	84,36	86,51	60,77	49,42
Немагнитная фракция	34,18	8,65	35,60	56,63	59,21	21,47	28,58	42,14	27,29	45,62	15,64	13,49	39,23	50,58
Итого	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Обогащение при индукции магнитного поля 1,1 Тл с дополнительной обработкой ГПАА - 200 г/т														
Наименование продукта	Выход, %	Содержание, %												
		Fe	Si	S	As	Ca	Sb	K	Mn	Zn	Cu	Ni	Sr	Zr
45 Магнитная фракция	75,03	35,542	15,671	2,186	2,720	3,694	2,053	0,793	0,193	0,065	0,087	0,066	0,015	0,007
Немагнитная фракция	24,97	11,142	16,321	3,837	5,633	2,217	1,850	1,085	0,156	0,096	0,023	0,002	0,001	0,015
Итого	100,00	29,449	15,833	2,598	3,447	3,325	2,002	0,866	0,184	0,073	0,071	0,035	0,012	0,009

Наименование продукта	Выход, %	Извлечение, %												
		Fe	Si	S	As	Ca	Sb	K	Mn	Zn	Cu	Ni	Sr	Zr
Магнитная фракция	75,03	90,55	74,26	63,12	59,20	83,35	76,92	68,72	78,75	67,22	91,94	98,57	97,83	57,91
Немагнитная фракция	24,97	9,45	25,74	36,88	40,80	16,65	23,08	31,28	21,25	32,78	8,089	1,43	2,17	42,09
Итого	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Обогащение при индукции магнитного поля 1,1 Тл с дополнительной обработкой ГПАА - 250 г/т														
Наименование продукта	Выход, %	Извлечение, %												
		Fe	Si	S	As	Ca	Sb	K	Mn	Zn	Cu	Ni	Sr	Zr
Магнитная фракция	85,70	30,175	15,752	2,391	3,082	3,510	2,027	0,829	0,189	0,069	0,061	0,025	0,012	0,008
Немагнитная фракция	14,30	25,100	16,321	3,837	5,633	2,217	1,850	1,085	0,156	0,096	0,131	0,095	0,010	0,015
Итого	100,00	29,449	15,833	2,598	3,447	3,325	2,002	0,866	0,184	0,073	0,071	0,035	0,012	0,009
Наименование продукта	Выход, %	Извлечение, %												
		Fe	Si	S	As	Ca	Sb	K	Mn	Zn	Cu	Ni	Sr	Zr
Магнитная фракция	87,81	85,26	78,88	76,63	90,47	86,78	82,08	87,87	81,23	80,66	73,63	61,21	75,90	87,81
Немагнитная фракция	12,19	14,74	21,12	23,37	9,53	13,22	17,92	12,13	18,77	19,34	26,37	38,79	24,10	12,19
Итого	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Как видно из табл. 1, использование дополнительной обработки с применением ГПАА оказывает положительное влияние на повышение извлечения железа концентрат. При добавке ГПАА в количестве от 150 до 200 г/т извлечение железа составляет более 90 % при содержании более 35 %. Так же добавка ГПАА позволяет повысить извлечение меди и никеля более 84 и 85 % соответственно. Уменьшение или увеличение расхода ГПАА не позволяет достичь данных показателей.

Немагнитная фракция поступает на углеродистую флотацию. В качестве собирателя применяется эмульсия аполярного собирателя в ПАВ концентрацией 1% и расходом от 150 до 200 г/т. В результате получают флотационный концентрат, который может быть использован в металлургическом производстве, и отвальный продукт. В концентрат при этом происходит извлечение шарообразных частиц, содержащих редкоземельные металлы (фиг 3, 4) и циркон (фиг 5, 6). Результаты исследования влияния аполярного собирателя на повышение извлечения ценных компонентов представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Результаты флотации золошлаковых отходов после магнитной сепарации

Эмульсия веретенного масла с 1 % раствором ПАВ (рекомендуемый режим) - 200 г/т														
Наименование продукта	Выход, %	Содержание, %												
		A ^d	NiO	V ₂ O ₅	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CuO	ZnO	MnO	Al ₂ O ₃	As ₂ O ₃	SO ₃	ZrO ₂
Концентрат	10,11	9,16	0,015	0,005	3,503	1,903	0,329	0,024	0,005	0,024	2,537	0,278	0,533	0,007
Хвосты	89,89	98,10	0,052	0,001	32,838	44,301	1,129	0,099	0,101	0,272	4,542	4,926	6,559	0,000
Итого	100,00	89,11	0,048	0,002	29,872	40,014	1,048	0,091	0,091	0,247	4,340	4,456	5,950	0,001
Наименование продукта	Выход, %	Извлечение, %												
		A ^d	NiO	V ₂ O ₅	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CuO	ZnO	MnO	Al ₂ O ₃	As ₂ O ₃	SO ₃	ZrO ₂
Концентрат	12,11	1,04	3,14	27,49	1,19	0,48	3,17	2,66	0,59	0,97	5,91	0,63	0,91	72,79
Хвосты	87,89	98,96	96,86	72,51	98,81	99,52	96,83	97,34	99,41	99,03	94,09	99,37	99,09	27,21
Итого	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Эмульсия веретенного масла с 1 % раствором ПАВ - 150 г/т														
Наименование продукта	Выход, %	Содержание, %												
		A ^d	NiO	V ₂ O ₅	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CuO	ZnO	MnO	Al ₂ O ₃	As ₂ O ₃	SO ₃	ZrO ₂
Концентрат	11,21	10,18	0,055	0,002	3,300	1,302	0,120	0,014	0,014	0,017	3,947	0,962	0,445	0,005
Хвосты	88,79	97,99	0,047	0,002	32,860	44,368	1,153	0,100	0,100	0,273	4,384	4,849	6,569	0,001
Итого	100,00	89,11	0,048	0,002	29,872	40,014	1,048	0,091	0,091	0,247	4,340	4,456	5,950	0,001
Наименование продукта	Выход, %	Извлечение, %												
		A ^d	NiO	V ₂ O ₅	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CuO	ZnO	MnO	Al ₂ O ₃	As ₂ O ₃	SO ₃	ZrO ₂

	Концентрат	12,11	1,15	11,52	9,85	1,12	0,33	1,16	1,51	1,53	0,69	9,20	2,18	0,76	50,55
	Хвосты	87,89	98,85	88,48	90,15	98,88	99,67	98,84	98,49	98,47	99,31	90,80	97,82	99,24	49,45
	Итого	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Эмульсия веретенного масла с 1 % раствором ПАВ - 250 г/т															
5	Наименование продукта	Выход, %	Содержание, %												
			A ^d	NiO	V ₂ O ₅	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CuO	ZnO	MnO	Al ₂ O ₃	As ₂ O ₃	SO ₃	ZrO ₂
	Концентрат	12,01	10,34	0,007	0,001	3,034	2,410	0,127	0,049	0,047	0,032	2,816	0,739	1,077	0,004
	Хвосты	87,99	97,97	0,053	0,002	32,890	44,244	1,152	0,096	0,096	0,271	4,511	4,874	6,498	0,001
	Итого	100,00	89,11	0,048	0,002	29,872	40,014	1,048	0,091	0,091	0,247	4,340	4,456	5,950	0,001
10	Наименование продукта	Выход, %	Извлечение, %												
			A ^d	NiO	V ₂ O ₅	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CuO	ZnO	MnO	Al ₂ O ₃	As ₂ O ₃	SO ₃	ZrO ₂
	Концентрат	12,11	1,17	1,54	5,66	1,03	0,61	1,22	5,42	5,24	1,30	6,56	1,68	1,83	41,45
	Хвосты	87,89	98,83	98,46	94,34	98,97	99,39	98,78	94,58	94,76	98,70	93,44	98,32	98,17	58,55
	Итого	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Эмульсия веретенного масла с 1 % раствором ПАВ (рекомендуемый режим) - 100 г/т															
15	Наименование продукта	Выход, %	Содержание, %												
			A ^d	NiO	V ₂ O ₅	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CuO	ZnO	MnO	Al ₂ O ₃	As ₂ O ₃	SO ₃	ZrO ₂
	Концентрат	8,26	7,86	0,012	0,002	3,008	1,601	0,228	0,02	0,004	0,021	2,298	0,11	0,51	0,003
	Хвосты	91,74	96,43	0,051	0,002	32,291	43,473	1,122	0,10	0,099	0,267	4,524	4,85	6,44	0,001
	Итого	100	89,11	0,048	0,002	29,872	40,014	1,048	0,091	0,091	0,247	4,34	4,456	5,95	0,001
20	Наименование продукта	Выход, %	Извлечение, %												
			A ^d	NiO	V ₂ O ₅	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CuO	ZnO	MnO	Al ₂ O ₃	As ₂ O ₃	SO ₃	ZrO ₂
	Концентрат	8,26	0,73	2,07	8,26	0,83	0,33	1,80	1,82	0,36	0,70	4,37	0,20	0,71	24,78
	Хвосты	91,74	99,27	97,94	91,74	99,17	99,67	98,20	98,18	99,64	99,30	95,63	99,80	99,29	75,22
	Итого	100	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Как видно из табл. 2, использование эмульсии веретенного масла с 1 % раствором ПАВ в количестве от 150 до 200 г/т позволяет повысить извлечение оксида циркония и ванадия в концентрат более 50 % и 9 % соответственно. Превышение расхода собирателя более 200 г/т приводит к снижению извлечения оксида циркония и ванадия в концентрат, расход собирателя менее 150 г/т также не позволяет достичь высоких показателей. Это, скорее всего, связано с недостаточной активацией минералов, что не позволяет им эффективно взаимодействовать с эмульсией и ПАВ.

Разработанный способ позволяет повысить эффективность извлечения оксида железа, алюминия, циркона, редких и редкоземельных металлов в товарные концентраты за счет комбинации высокоградиентной магнитной сепарации с предварительной реагентной обработкой и флотации с разработанным композиционным составом эмульсии для последовательного получения товарных концентратов.

(57) Формула изобретения

Способ извлечения стратегических металлов из техногенного сырья, характеризующийся тем, что включает поступление техногенного сырья, содержащего оксиды железа, алюминия, титана, редких и редкоземельных металлов на измельчение до крупности менее 100 мкм, после чего измельченный продукт направляют на магнитную сепарацию в слабом магнитном поле, в результате магнитной сепарации в слабом магнитном поле получают первый магнитный концентрат, содержащий минералы железа, связанные с интерметаллидами, который направляют на последующую металлургическую переработку, и немагнитную фракцию, которая содержит активный углерод, железо, алюминий, редкие и редкоземельные металлы, немагнитная фракция поступает на предварительную обработку гидролизированным полиакриламидом (ГПАА) с расходом от 150 до 200 г/т в контактно-чане, за счет такой обработки в процессе высокоградиентной магнитной сепарации образуются частицы минералов железа,

содержащие тантал, ниобий, титан, алюминий, обработанный материал подают на высокоградиентную магнитную сепарацию, которую проводят при значении индукции магнитного поля 1,1 Тл, во время поступления в сепаратор обработанного материала процесс агрегации дополнительно активируют воздействием магнитного поля, в магнитном поле частицы минералов железа намагничиваются и становятся магнитными центрами, притягивая минералы, содержащие тантал, ниобий, титан, алюминий, в результате высокоградиентной магнитной сепарации получают второй магнитный концентрат, содержащий магнитные, алюмосиликатные частицы размером от 2 до 15 мкм, а также редкие и редкоземельные элементы, который отправляют на металлургический передел, и немагнитную фракцию, немагнитная фракция поступает на углеродистую флотацию с предварительным кондиционированием с реагентом-собирателем, в качестве собирателя используется эмульсия аполярного собирателя в ПАВ концентрацией 1 % и расходом от 150 до 200 г/т, после углеродистой флотации получают флотационный концентрат, содержащий редкоземельные металлы, такие как La, Ce, Nd, так и Zr, который также отправляют на последующую металлургическую переработку, и хвосты углеродистой флотации, которые являются отвальным продуктом.

20

25

30

35

40

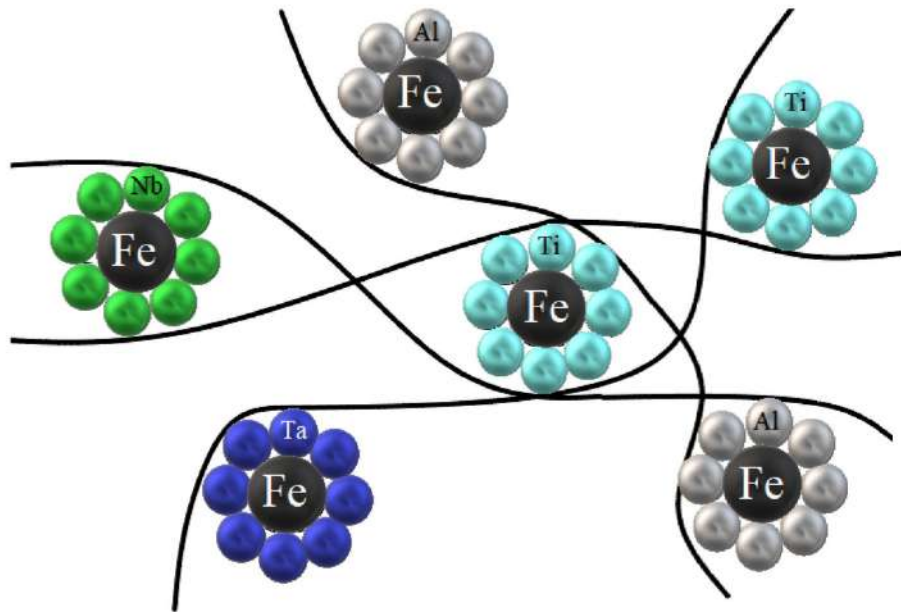
45

1

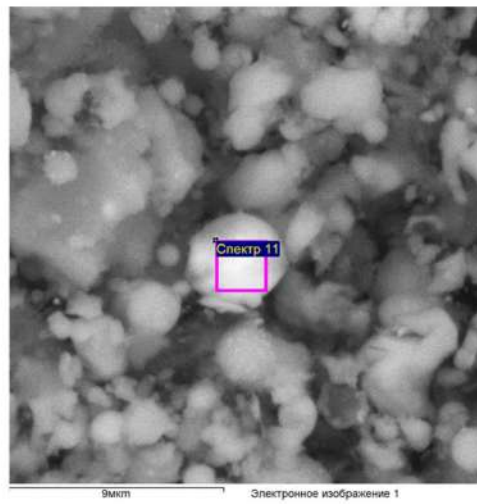


Фиг. 1

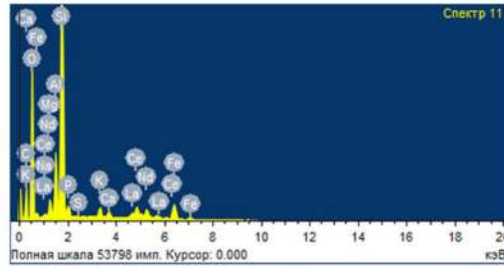
2



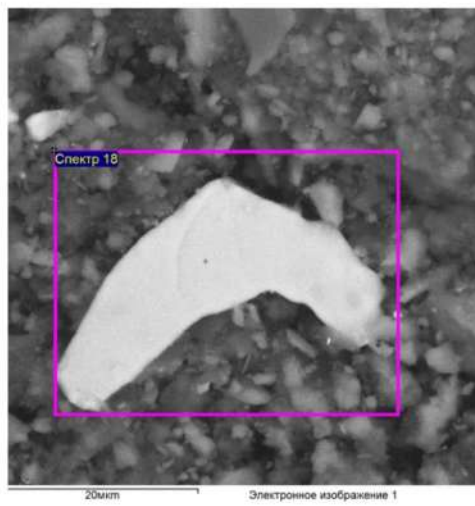
Фиг. 2



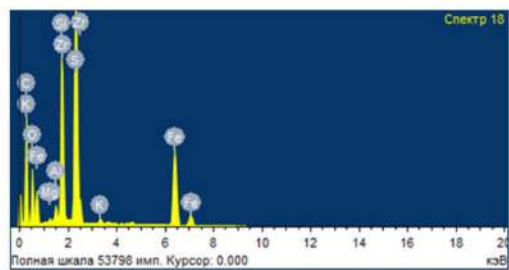
Фиг. 3



Фиг.4



Фиг.5



Фиг.6