



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2014141795/02, 13.03.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
13.03.2013

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
19.03.2012 CA PCT/CA2012/000253;
03.05.2012 CA PCT/CA2012/000419;
19.09.2012 US 61/703,219;
26.09.2012 US 61/705,807

(43) Дата публикации заявки: 20.05.2016 Бюл. № 14

(45) Опубликовано: 20.08.2016 Бюл. № 23

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: CN 101781719 A, 21.07.2010. EP 0775753
A1, 28.05.1997. RU 2057196 C1, 27.03.1996. US
2722471 A, 01.11.1955. RU 2183225 C1,
10.06.2002. WO 2008141423 A1, 27.11.2008.(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на
национальной фазе: 20.10.2014(86) Заявка РСТ:
CA 2013/000226 (13.03.2013)(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2013/138900 (26.09.2013)Адрес для переписки:
190000, Санкт-Петербург, ВОХ 1125,
"ПАТЕНТИКА"

(72) Автор(ы):

БОДРО, Ришар (СА),
КРИВАНЕЦ, Хайнц (АТ),
ДИТТРИХ, Карстен (ДЕ),
ЛАБРЕК-ГИЛБЕРТ, Мари-Максим (СА)

(73) Патентообладатель(и):

ОРБИТ ТЕКНОЛОДЖИЗ ИНК. (СА)

(54) СПОСОБ ИЗВЛЕЧЕНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ

(57) Реферат:

Изобретения относятся к способам извлечения по меньшей мере одного редкоземельного элемента. Способы включают получение кислой композиции, содержащей по меньшей мере один редкоземельный элемент и по меньшей мере один редкий металл. Далее осуществляют взаимодействие указанной композиции с агентом с селективным извлечением первого редкоземельного элемента и необязательно первого редкого металла. Техническим

результатом является возможность экстрагировать различные редкоземельные элементы, такие как скандий, иттрий, лантан, церий, празеодим, неодим, прометий, самарий, европий, гадолиний, тербий, диспрозий, гольмий, эрбий, тулий, иттербий, лютеций, и различные редкие металлы, такие как индий, цирконий, литий, галлий. 15 н. и 291 з.п. ф-лы, 26 ил., 19 табл., 8 пр.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.

C22B 59/00 (2006.01)*C22B* 3/10 (2006.01)*C22B* 3/20 (2006.01)*C22B* 7/00 (2006.01)(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2014141795/02, 13.03.2013

(24) Effective date for property rights:
13.03.2013

Priority:

(30) Convention priority:

19.03.2012 CA PCT/CA2012/000253;

03.05.2012 CA PCT/CA2012/000419;

19.09.2012 US 61/703,219;

26.09.2012 US 61/705,807

(43) Application published: 20.05.2016 Bull. № 14

(45) Date of publication: 20.08.2016 Bull. № 23

(85) Commencement of national phase: 20.10.2014

(86) PCT application:

CA 2013/000226 (13.03.2013)

(87) PCT publication:

WO 2013/138900 (26.09.2013)

Mail address:

190000, Sankt-Peterburg, BOX 1125, "PATENTIKA"

(72) Inventor(s):

BODRO, Rishar (CA),**KRIVANETS, KHajnts (AT),****DITTRIKH, Karsten (DE),****LABREK-GILBERT, Mari-Maksim (CA)**

(73) Proprietor(s):

ORBIT TEKNOLODZHIZ INK. (CA)(54) **METHOD OF EXTRACTING RARE-EARTH ELEMENTS AND RARE METALS**

(57) Abstract:

FIELD: chemistry.

SUBSTANCE: invention relates to methods of extracting at least one rare-earth element. Methods involve obtaining acid composition containing at least one rare-earth element and at least one rare metal. Then reacting said composition with agent with selective extraction of first rare-earth element and optionally first rare metal.

EFFECT: possibility to extract different rare-earth elements, such as scandium, yttrium, lanthanum, cerium, praseodymium, neodymium, promethium, samarium, europium, gadolinium, terbium, dysprosium, holmium, erbium, thulium, ytterbium, lutetium and various rare metals, such as indium, zirconium, lithium, gallium.

306 cl, 26 dwg, 19 tbl, 8 ex

ПЕРЕКРЕСТНАЯ ССЫЛКА НА РОДСТВЕННЫЕ ЗАЯВКИ

[0001] Настоящая заявка испрашивает приоритет на основании международной заявки РСТ/СА2012/000253, поданной 19 марта 2012 г., международной заявки РСТ/СА2012/000419, поданной 3 мая 2012 г.; заявки на патент США 61/703219, поданной 19 сентября 2012 г.; и заявки на патент США 61/705807, поданной 26 сентября 2012 г. Указанные документы включены в настоящее описание посредством ссылки во всей полноте.

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

[0002] Настоящее изобретение относится к усовершенствованиям в области химических процессов, применяемых для извлечения, экстракции и/или выделения редкоземельных элементов (REE) и редких металлов (RM). Например, такие процессы подходят для получения редкоземельных элементов из различных материалов и их производных, таких как алюминийсодержащие материалы и производные, железосодержащие материалы и производные, цинксодержащие материалы и их производные, медьсодержащие материалы и их производные, никельсодержащие материалы и их производные и титансодержащие материалы и их производные.

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

[0003] В различных областях техники существует возрастающая потребность в редкоземельных элементах. В нескольких странах предпринимались попытки восстановления добычи редкоземельных элементов. В будущем поставки редкоземельных элементов будут значительно зависеть от экономической целесообразности процессов экстракции и производства и технологических инноваций, для которых требуются такие редкоземельные элементы.

[0004] Таким образом, существует потребность в обеспечении альтернатив существующим решениям для экстракции редкоземельных элементов.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0005] Согласно одному из аспектов предложен способ извлечения по меньшей мере одного редкоземельного элемента из материала, содержащего редкоземельные элементы, включающий:

получение из указанного материала кислой композиции, содержащей (i) по меньшей мере один редкоземельный элемент и необязательно по меньшей мере один редкий металл; и

взаимодействие указанной композиции с осаждающим агентом с по существу селективным осаждением первого редкоземельного элемента и необязательно первого редкого металла.

[0006] Согласно другому аспекту предложен способ извлечения по меньшей мере одного редкоземельного элемента из материала, содержащего редкоземельные элементы, включающий:

получение из указанного материала кислой композиции, содержащей (i) по меньшей мере один редкоземельный элемент и по меньшей мере один редкий металл, и (ii) по меньшей мере один ион металла;

по меньшей мере частичное удаление из указанной кислой композиции по меньшей мере одного иона металла путем взаимодействия с экстрагирующим агентом, ионообменной смолой и/или путем взаимодействия указанной композиции с восстанавливающим агентом с получением композиции, имеющей пониженное содержание по меньшей мере одного иона металла; и

взаимодействие указанной композиции, имеющей пониженное содержание по меньшей мере одного иона металла с осаждающим агентом с селективным осаждением первого

редкоземельного элемента и необязательно первого редкого металла.

[0007] Согласно другому аспекту предложен способ извлечения по меньшей мере одного редкоземельного элемента из материала, содержащего редкоземельные элементы, включающий:

5 получение из указанного материала кислой композиции, содержащей (i) по меньшей мере один редкоземельный элемент и необязательно по меньшей мере один редкий металл, и (ii) по меньшей мере один ион железа;

по меньшей мере частичное удаление из указанной кислой композиции по меньшей мере одного иона железа путем взаимодействия с экстрагирующим агентом,
10 ионообменной смолой и/или путем взаимодействия указанной композиции с восстанавливающим агентом с получением композиции, имеющей пониженное содержание по меньшей мере одного иона железа; и

взаимодействие указанной композиции, имеющей пониженное содержание по меньшей мере одного иона железа, с осаждающим агентом с по существу селективным осаждением
15 первого редкоземельного элемента и необязательно первого редкого металла.

[0008] Согласно другому аспекту предложен способ извлечения по меньшей мере одного редкоземельного элемента из по меньшей мере одного материала, содержащего редкоземельные элементы, включающий:

выщелачивание по меньшей мере одного материала по меньшей мере одной кислотой
20 с получением продукта выщелачивания, содержащего по меньшей мере один ион металла и по меньшей мере один редкоземельный элемент;

по существу селективное осаждение, экстрагирование и/или выделение по меньшей мере одного иона металла из продукта выщелачивания и необязательно получение осадка; и

25 по существу селективное осаждение, экстрагирование и/или выделение по меньшей мере одного редкоземельного элемента из продукта выщелачивания и/или указанного осадка.

[0009] Согласно другому аспекту предложен способ экстрагирования по меньшей мере одного редкоземельного элемента из по меньшей мере одного материала, содержащего редкоземельные элементы, включающий:

30 выщелачивание по меньшей мере одного материала по меньшей мере одной кислотой с получением продукта выщелачивания, содержащего по меньшей мере один ион металла и по меньшей мере один редкоземельный элемент; и

селективное осаждение по меньшей мере одного составляющего, выбранного из по
35 меньшей мере одного редкоземельного элемента и по меньшей мере одного иона металла.

[0010] Согласно одному из аспектов предложен способ извлечения по меньшей мере одного редкоземельного элемента из по меньшей мере одного материала, содержащего редкоземельные элементы, включающий:

40 выщелачивание по меньшей мере одного материала по меньшей мере одной кислотой с получением продукта выщелачивания, содержащего по меньшей мере один ион металла и по меньшей мере один редкоземельный элемент;

необязательно по существу селективное осаждение, экстрагирование и/или выделение по меньшей мере одного редкоземельного элемента из продукта выщелачивания и/или
45 осадка.

по существу селективное осаждение, экстрагирование и/или выделение по меньшей мере одного иона металла из продукта выщелачивания и необязательно получение осадка; и

по существу селективное осаждение, экстрагирование и/или выделение по меньшей мере одного редкоземельного элемента из продукта выщелачивания и/или осадка.

[0011] Согласно другому примеру предложен способ извлечения по меньшей мере одного редкоземельного элемента из по меньшей мере одного материала, содержащего

редкоземельные элементы, включающий:

выщелачивание по меньшей мере одного материала по меньшей мере одной кислотой с получением продукта выщелачивания, содержащего по меньшей мере один ион металла, по меньшей мере один редкоземельный элемент, и твердого вещества, и отделение продукта выщелачивания от твердого вещества;

по существу селективное удаление по меньшей мере одного иона металла из продукта выщелачивания и необязательно получение осадка; и

по существу селективное удаление по меньшей мере одного редкоземельного элемента из продукта выщелачивания и/или осадка.

[0012] Согласно другому примеру предложен способ извлечения по меньшей мере одного редкоземельного элемента из по меньшей мере одного материала, содержащего

редкоземельные элементы, включающий:

выщелачивание по меньшей мере одного материала по меньшей мере одной кислотой с получением продукта выщелачивания, содержащего по меньшей мере один ион металла и по меньшей мере один редкоземельный элемент, и твердого вещества, и

отделение указанного продукта выщелачивания от твердого вещества; и

по существу селективное удаление по меньшей мере одного составляющего, выбранного из по меньшей мере одного редкоземельного элемента и по меньшей мере одного иона металла, из продукта выщелачивания.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

[0013] На следующих чертежах, только в качестве примера, приведены различные варианты реализации настоящего изобретения:

[0014] На Фиг. 1 показана блок-схема примера способа получения оксида алюминия и различных других продуктов, включая редкоземельные элементы, согласно настоящему изобретению;

[0015] На Фиг. 2 показана блок-схема другого примера способа получения оксида алюминия и различных других продуктов, включая редкоземельные элементы, согласно настоящему изобретению;

[0016] На Фиг. 2А и 2В показана блок-схема способа, аналогичного способу, показанному на Фиг. 2;

[0017] На Фиг. 3 показана блок-схема другого примера способа экстрагирования редкоземельных элементов согласно настоящему изобретению;

[0018] На Фиг. 3А показана блок-схема способа, аналогичного способу, показанному на Фиг. 3;

[0019] На Фиг. 4А и 4В показана блок-схема другого примера способа

экстрагирования редкоземельных элементов согласно настоящему изобретению;

[0020] На Фиг. 4С и 4D показана блок-схема способов, аналогичных способам, показанным на Фиг. 4А и 4В;

[0021] На Фиг. 5А, 5В, 5С, 5D показана блок-схема другого примера способа экстрагирования редкоземельных элементов согласно настоящему изобретению;

[0022] На Фиг. 5Е, 5F, 5G и 5H показана блок-схема способов, аналогичных способам, показанным на Фиг. 5А, 5В, 5С и 5D;

[0023] На Фиг. 6-11 приведены выходы осаждения (%), полученные для различных редкоземельных элементов и редких металлов в ходе осуществления способов согласно

настоящему изобретению;

[0024] На Фиг. 12-25 приведены кривые, показывающие различные результаты, полученные при проведении экстракций соединений в ходе осуществления способов согласно настоящему изобретению; и

[0025] На Фиг. 26 показана блок-схема другого примера способа экстрагирования редкоземельных элементов согласно настоящему изобретению.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ РЕАЛИЗАЦИИ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0026] Другие особенности и преимущества станут более очевидными из следующего описания различных вариантов реализации, показанных посредством примеров.

[0027] Было обнаружено, что извлечение редкоземельного элемента(-ов) можно осуществить, например, согласно способам, описанным в настоящем изобретении, на различных стадиях. Кроме того, было обнаружено, что такие способы могут подходить, даже если обнаруживаются только следовые количества редкоземельных элементов.

Было также обнаружено, что такие способы могут особенно подходить для экстрагирования редкоземельных элементов из раствора, который является по существу переработанным или очищенным. Например, указанные способы могут быть полезны, поскольку их можно применять к растворам, из которых были удалены несколько основных компонентов. Их также можно применять к растворам до удаления нескольких

основных компонентов.

[0028] Выражение «по меньшей мере один ион металла», используемое в настоящем документе, относится, например, к по меньшей мере одному виду иона, выбранному из всех возможных форм ионов такого металла. Например, если указанный металл «М» может представлять собой M^{2+} или M^{3+} , по меньшей мере один ион металла для металла М может представлять собой M^{2+} или M^{3+} . Например, металл может быть выбран из алюминия, железа, цинка, меди, никеля, магния, титана и т.д.

[0029] Выражение «по меньшей мере один ион алюминия», используемое в настоящем документе, относится, например, к по меньшей мере одному виду иона алюминия, выбранному из всех возможных форм ионов Al. Например, по меньшей мере один ион алюминия может представлять собой Al^{3+} .

[0030] Выражение «по меньшей мере один ион железа», используемое в настоящем документе, относится, например, к по меньшей мере одному виду иона железа, выбранному из всех возможных форм ионов Fe. Например, по меньшей мере один ион железа может представлять собой Fe^{2+} , Fe^{3+} или их смесь.

[0031] Выражение «по меньшей мере один ион цинка», используемое в настоящем документе, относится, например, к по меньшей мере одному виду иона цинка, выбранному из всех возможных форм ионов Zn. Например, по меньшей мере один ион цинка может представлять собой Zn^{2+} .

[0032] Выражение «по меньшей мере один ион меди», используемое в настоящем документе, относится, например, к по меньшей мере одному виду ионов меди, выбранному из всех возможных форм ионов Cu. Например, по меньшей мере один ион меди может представлять собой Cu^{1+} или Cu^{2+} или их смесь.

[0033] Выражение «по меньшей мере один ион никеля», используемое в настоящем документе, относится, например, к по меньшей мере одному виду ионов никеля, выбранному из всех возможных форм ионов Ni. Например, по меньшей мере один ион никеля может представлять собой Ni^{2+} или Ni^{3+} , или их смесь.

[0034] Выражение «по меньшей мере один ион магния», используемое в настоящем документе, относится, например, к по меньшей мере одному виду ионов магния, выбранному из всех возможных форм ионов Mg. Например, по меньшей мере один ион магния может представлять собой Mg^{2+} .

[0035] Выражение «по меньшей мере один ион титана», используемое в настоящем документе, относится, например, к по меньшей мере одному виду ионов титана, выбранному из всех возможных форм ионов Ti. Например, по меньшей мере один ион титана может представлять собой Ti^{3+} или Ti^{4+} , или их смесь.

[0036] Выражение «по меньшей мере один редкоземельный элемент», используемое в настоящем документе, относится, например, к по меньшей мере одному виду редкоземельного элемента, выбранному из всех редкоземельных элементов, описанных в настоящем изобретении во всех возможных формах.

[0037] Выражение «по меньшей мере один редкий металл», используемое в настоящем документе, относится, например, к по меньшей мере одному виду редкого металла, выбранному из всех редких металлов, описанных в настоящем изобретении во всех возможных формах.

[0038] Выражение «раствор, не содержащий Ga», используемое в настоящем документе, относится, например, к раствору, который содержит примерно менее 5%, 2% или 1% масс./об. галлия.

[0039] Выражение «раствор, не содержащий Ce», используемое в настоящем документе, относится, например, к раствору, который содержит примерно менее 5%, 2% или 1% масс./об. церия.

[0040] Выражение «раствор, не содержащий Sc», используемое в настоящем документе, относится, например, к раствору, который содержит примерно менее 5%, 2% или 1% масс./об. скандия.

[0041] Выражение «раствор, не содержащий Sm», используемое в настоящем документе, относится, например, к раствору, который содержит примерно менее 5%, 2% или 1% масс./об. самария.

[0042] Выражение «раствор, не содержащий Eu», используемое в настоящем документе, относится, например, к раствору, который содержит примерно менее 5%, 2% или 1% масс./об. европия.

[0043] Выражение «раствор, не содержащий Gd», используемое в настоящем документе, относится, например, к раствору, который содержит примерно менее 5%, 2% или 1% масс./об. гадолиния.

[0044] Выражение «раствор, не содержащий Y», используемое в настоящем документе, относится, например, к раствору, который содержит примерно менее 5%, 2% или 1% масс./об. иттрия.

[0045] Выражение «раствор, не содержащий Pr», используемое в настоящем документе, относится, например, к раствору, который содержит примерно менее 5%, 2% или 1% масс./об. празеодима.

[0046] Выражение «раствор, не содержащий Nd», используемое в настоящем документе, относится, например, к раствору, который содержит примерно менее 5%, 2% или 1% масс./об. неодима.

[0047] Выражение «раствор, не содержащий La», используемое в настоящем документе, относится, например, к раствору, который содержит примерно менее 5%, 2% или 1% масс./об. лантана.

[0048] Выражение «раствор, не содержащий Er», используемое в настоящем документе, относится, например, к раствору, который содержит примерно менее 5%, 2% или 1%

масс./об. эрбия.

[0049] Выражение «раствор, не содержащий Dy», используемое в настоящем документе, относится, например, к раствору, который содержит примерно менее 5%, 2% или 1% масс./об. диспрозия.

5 [0050] Выражение «редкоземельный элемент», используемое в настоящем документе, относится, например, к редкому элементу, выбранному из скандия, иттрия, лантана, церия, празеодима, неодима, прометия, самария, европия, гадолиния, тербия, диспрозия, гольмия, эрбия, тулия, иттербия и лютеция. Сокращение «REE» можно использовать в настоящем изобретении в качестве синонима для «редкоземельного элемента».

10 [0051] Выражение «редкий металл», используемое в настоящем документе, относится, например, к редкому металлу, выбранному из индия, циркония, лития и галлия. Указанные редкие металлы могут быть в различной форме, такой как элементарная форма (или металлическая форма), в форме галогенидов (например, хлоридов), оксидов, сульфатов, оксалатов, гидроксидов и т.д. Сокращение «RM» можно использовать в
15 настоящем изобретении в качестве синонима для «редкого металла».

[0052] Термин «REEO или REE-O», используемый в настоящем изобретении, относится к оксиду (оксидам) редкоземельного элемента.

[0053] Термин «RMO или RM-O», используемый в настоящем изобретении, относится к оксиду (оксидам) редкого металла.

20 [0054] Термины, указывающие на степень, такие как «примерно» и «приблизительно», используемые в настоящем документе, означают разумное количественное отклонение модифицированного термина, таким образом, что конечный результат в значительной степени не изменяется. Указанные термины степени должны истолковываться, как включающие отклонение на по меньшей мере $\pm 5\%$ или по меньшей мере $\pm 10\%$ от
25 модифицированного термина, если это отклонение не противоречит значению слова, которое она модифицирует.

[0055] В способах согласно настоящему изобретению после выщелачивания по существу селективное удаление по меньшей мере одного составляющего, выбранного из по меньшей мере одного редкоземельного элемента и по меньшей мере одного
30 металла, из продукта выщелачивания может быть проведено различными методами. По меньшей мере один ион металла (или второй ион металла) может быть удален и затем первый ион металла может быть удален и, наконец, по меньшей мере один редкоземельный элемент может быть удален. Альтернативно, первый ион металла может быть удален, затем второй ион металла может быть удален и, наконец, по
35 меньшей мере один редкоземельный элемент может быть удален. Согласно другому примеру по меньшей мере один редкоземельный элемент может быть удален, затем первый ион металла может быть удален и, наконец, второй ион металла может быть удален. Также, по меньшей мере один редкоземельный элемент может быть удален, затем второй ион металла может быть удален и, наконец, первый ион металла может
40 быть удален. Также предусматриваются и другие различные возможные комбинации.

[0056] По меньшей мере одна кислота, используемая для выщелачивания по меньшей мере одного материала, может представлять собой HCl, H₂SO₄, HNO₃ или их смеси.

Больше одной кислоты можно использовать в качестве смеси или отдельно. Растворы, полученные из указанных кислот, можно использовать в различных концентрациях.

45 Например, можно использовать концентрированные растворы. Например, можно использовать 6 М или 12 М HCl. Например, можно использовать до 98% или 100% масс. H₂SO₄. Например, можно использовать 18 масс.% или 32 масс.%.

[0057] Например, по меньшей мере один материал можно выщелачивать с помощью

HCl, имеющей концентрацию от примерно 15 до примерно 45 масс.%, от примерно 20 до примерно 45 масс.%, от примерно 25 до примерно 45 масс.%, от примерно 26 до примерно 42 масс.%, от примерно 28 до примерно 40 масс.%, от примерно 30 до примерно 38 масс.% или от 25 до 36 масс.%.

5 [0058] Выщелачивание можно также проводить путем добавления сухой высококонцентрированной кислоты (например, 85%, 90% или 95%) в газообразной фазе в водный раствор. Альтернативно, выщелачивание можно также проводить путем использования раствора слабой кислоты (например, <3 масс.%).

[0059] Например, выщелачивание можно проводить путем использования HCl, 10 имеющей концентрацию от примерно 18 до примерно 32 масс.%, в первом реакторе и затем путем использования HCl, имеющей концентрацию от примерно 90 до примерно 95%, во втором реакторе.

[0060] Например, по меньшей мере один материал можно выщелачивать при температуре от примерно 125 до примерно 225°C, от примерно 150 до примерно 200°C, 15 от примерно 160 до примерно 180°C или от примерно 165 до примерно 170°C.

[0061] Например, выщелачивание можно проводить под давлением. Например, давление может составлять от примерно 100 до примерно 300 или от примерно 150 до примерно 200 psig. Выщелачивание можно проводить в течение от примерно 30 минут до примерно 5 часов. Например, выщелачивание можно проводить при температуре 20 от примерно 60°C до примерно 200°C.

[0062] Например, выщелачивание можно проводить под давлением в автоклаве. Например, его можно проводить при давлении от 5 КПа изб. до примерно 850 КПа изб., от 50 КПа изб. до примерно 800 КПа изб., от 100 КПа изб. до примерно 750 КПа изб., от 150 КПа изб. до примерно 700 КПа изб., от 200 КПа изб. до примерно 600 КПа 25 изб. или от 250 КПа изб. до примерно 500 КПа изб.

[0063] Например, выщелачивание можно проводить при температуре по меньшей мере 80°C, по меньшей мере 90°C или от примерно 100°C до примерно 110°C. В некоторых случаях его можно осуществлять при более высоких температурах с целью увеличения выходов экстракции редкоземельных элементов в некоторых рудах. 30 Например, выщелачивание можно проводить при температуре по меньшей мере 100°C, по меньшей мере 120°C, по меньшей мере 130°C, по меньшей мере 140°C или от примерно 140°C до примерно 175°C.

[0064] Например, в продукте выщелачивания по меньшей мере один редкоземельный элемент может быть в форме иона.

35 [0065] Например, после выщелачивания по меньшей мере один редкоземельный элемент может быть солибализован в раствор и может быть обнаружен в качестве растворимого иона, связанного с хлором, сульфатом, нитратом или гидратами, и т.д.

[0066] Например, после выщелачивания (если необходимо) для повышения pH можно использовать различные основания, такие как KOH, NaOH, Ca(OH)₂, CaO, MgO, Mg 40 (OH)₂, CaCO₃, Na₂CO₃, NaHCO₃, CO₂ или их смеси.

[0067] Например, по меньшей мере один материал может быть выбран из алюминийсодержащих материалов и производных, железосодержащих материалов и производных, цинксодержащих материалов и их производных, медьсодержащих 45 материалов и их производных, никельсодержащих материалов и их производных, магнийсодержащих материалов и их производных и титансодержащих материалов и их производных.

[0068] Например, по меньшей мере один алюминийсодержащий материал может представлять собой по меньшей мере одну алюминийсодержащую руду.

[0069] Например, по меньшей мере один железосодержащий материал может представлять собой по меньшей мере одну железосодержащую руду.

[0070] Например, по меньшей мере один цинксодержащий материал может представлять собой по меньшей мере одну цинксодержащую руду.

5 [0071] Например, по меньшей мере один медьсодержащий материал может представлять собой по меньшей мере одну медьсодержащую руду.

[0072] Например, по меньшей мере один никельсодержащий материал может представлять собой по меньшей мере одну никельсодержащую руду.

10 [0073] Например, по меньшей мере один магнийсодержащий материал может представлять собой по меньшей мере одну магнийсодержащую руду.

[0074] Например, по меньшей мере один титансодержащий материал может представлять собой по меньшей мере одну титансодержащую руду.

15 [0075] Например, по меньшей мере один ион металла может содержать по меньшей мере один ион алюминия, по меньшей мере один ион цинка, по меньшей мере один ион меди, по меньшей мере один ион никеля, по меньшей мере один ион магния, по меньшей мере один ион титана и/или по меньшей мере один ион железа.

[0076] Например, по меньшей мере один ион металла может содержать первый ион металла и второй ион металла.

20 [0077] Например, первый ион металла может содержать по меньшей мере один ион алюминия, по меньшей мере один ион цинка, по меньшей мере один ион меди, по меньшей мере один ион никеля, по меньшей мере один ион титана и/или по меньшей мере один ион железа.

25 [0078] Например, второй ион металла может содержать по меньшей мере один ион алюминия, по меньшей мере один ион цинка, по меньшей мере один ион меди, по меньшей мере один ион никеля, по меньшей мере один ион титана и/или по меньшей мере один ион железа.

[0079] Например, первый ион металла может представлять собой по меньшей мере один ион алюминия.

30 [0080] Например, второй ион металла может представлять собой по меньшей мере один ион железа.

[0081] Например, по меньшей мере один ион металла может быть удален путем использования ионообменной смолы или ионообменной системы. Например, такая ионообменная смола или система может быть эффективна для пропускания только хлоридов редкоземельных элементов и хлоридов редких металлов, при этом улавливая

35 по меньшей мере один ион металла.

[0082] Например, по меньшей мере один ион железа может быть осажден. При осаждении по меньшей мере одного иона железа, он может быть осажден с помощью ионного осаждения и он может осаждаться в форме его различных солей, гидроксидов, хлоридов или гидратов. Например, по меньшей мере один ион железа может быть

40 осажден в виде FeCl_2 , FeCl_3 , $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{Fe}(\text{OH})_2$, гематита, гетита, ярозита или их гидратов.

[0083] Например, после осаждения по меньшей мере одного иона железа по меньшей мере один редкоземельный элемент может быть солюбилизован в раствор и может быть обнаружен в качестве растворимого иона, связанного в виде гидроксида или соли, или их гидратов.

45 [0084] Например, по меньшей мере ион алюминия может быть осажден. При осаждении по меньшей мере одного иона алюминия он может быть осажден с помощью ионного осаждения и он может осаждаться в форме различных солей (таких как хлориды, сульфаты) или гидроксидов, или гидратов. Например, по меньшей мере один ион

алюминия может быть осажден в виде $\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ или их гидратов.

[0085] Например, после осаждения по меньшей мере одного иона металла по меньшей мере один редкоземельный элемент может быть солюбилизирован в раствор и может быть обнаружен в качестве иона, связанного с гидроксидом или солью, или их гидратами.

[0086] Например, после осаждения по меньшей мере одного иона металла остаточный и по существу очищенный или переработанный раствор может содержать по меньшей мере один редкоземельный элемент в смеси с остаточными растворимыми ионами, такими как Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ .

[0087] Способы согласно настоящему изобретению могут быть эффективны для обработки различных материалов. По меньшей мере один материал может представлять собой алюминийсодержащий материал. Алюминийсодержащий материал может представлять собой алюминийсодержащую руду. Например, глина, аргиллит, глинистый сланец, берилл, криолит, гранат, шпинель, бокситы или их смеси могут быть использованы в качестве исходного материала. Алюминийсодержащий материал может также представлять собой переработанный промышленный алюминийсодержащий материал, такой как шлам. Алюминийсодержащий материал может также представлять красный шлам.

[0088] Способы согласно настоящему изобретению могут быть эффективны для обработки различных никельсодержащих руд. Например, могут быть использованы никелин, камасит, тенит, лимонит, гарниерит, латерит, пентландит или их смеси.

[0089] Способы согласно настоящему изобретению могут быть эффективны для обработки различных цинксодержащих руд. Например, могут быть использованы смитсонит, вариканит, сфалерит или их смеси.

[0090] Способы согласно настоящему изобретению могут быть эффективны для обработки различных медьсодержащих руд. Например, можно использовать медьсодержащие оксидные руды. Например, можно также использовать халькопирит, халькозин, ковеллин, борнит, тетраэдрит, малахит, азурит, куприт, хризоколлу или их смеси.

[0091] Способы согласно настоящему изобретению могут быть эффективны для обработки различных магнийсодержащих материалов. Например, с помощью таких способов можно обрабатывать серпентин. Кроме того, с помощью таких способов можно также обрабатывать антигорит, хризотил и лизардит, а также различные материалы и отвалы магниевых отходов, такие как промышленные отходы или отходы горного производства и их смеси.

[0092] Способы согласно настоящему изобретению могут быть эффективны для обработки различных титансодержащих руд. Например, могут быть использованы экандрюсит, гейкилит, пирофанит, ильменит, рутил или их смеси.

[0093] Например, по меньшей мере один редкоземельный элемент может быть выбран из скандия, иттрия, лантана, церия, празеодима, неодима, прометия, самария, европия, гадолиния, тербия, диспрозия, гольмия, эрбия, тулия, иттербия и лютеция.

[0094] Например, по меньшей мере один редкий металл может быть выбран из индия, циркония, лития и галлия.

[0095] Например, редкоземельные элементы можно иногда разделить на две категории, легкие редкоземельные элементы (LRE) и тяжелые редкоземельные элементы (HRE). Легкие редкоземельные элементы могут содержать лантан, церий, празеодим, неодим и самарий (атомные номера 57-62), и они обычно более распространены, чем

тяжелые редкоземельные элементы.

[0096] Например, по меньшей мере один редкий элемент может быть экстрагирован в форме их различных солей, оксидов, гидроксидов и гидратов.

5 [0097] Например, по меньшей мере один редкоземельный элемент может быть выбран из скандия, галлия, иттрия, лантана, церия, празеодима, неодима, прометия, самария, европия, гадолиния, диспрозия, эрбия, иттербия и их смесей.

[0098] Например, по меньшей мере один редкоземельный элемент выбран из скандия, галлия, иттрия, лантана, церия, празеодима, неодима, прометия, самария, европия, гадолиния, диспрозия и их смесей.

10 [0099] Например, по меньшей мере один редкоземельный элемент выбран из скандия, галлия, иттрия, церия и их смесей.

[00100] Например, по меньшей мере один редкоземельный элемент может представлять собой иттрий.

15 [00101] Например, по меньшей мере один редкоземельный элемент может представлять собой скандий.

[00102] Например, по меньшей мере один редкоземельный элемент может представлять собой галлий.

[00103] Например, по меньшей мере один редкоземельный элемент может представлять собой церий.

20 [00104] Например, способы могут включать:

выщелачивание по меньшей мере одного материала HCl с получением продукта выщелачивания, содержащего по меньшей мере один ион металла и по меньшей мере один редкоземельный элемент, и твердого вещества, и отделение указанного продукта выщелачивания от твердого вещества;

25 по существу селективное удаление по меньшей мере одного иона металла из продукта выщелачивания с получением композиции, содержащей ион металла и по меньшей мере один редкоземельный элемент; и

30 по существу селективное по меньшей мере частичное удаление по меньшей мере одного иона металла из указанной композиции с получением раствора, содержащего по меньшей мере один редкоземельный элемент.

[00105] Например, по меньшей мере один ион металла может быть по существу селективно удален из продукта выщелачивания путем по существу его селективного осаждения из продукта выщелачивания и удаления его из продукта выщелачивания путем проведения разделения твердое вещество-жидкость.

35 [00106] Например, по меньшей мере один ион металла может быть по существу селективно удален из продукта выщелачивания путем по существу его селективного осаждения в форме $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и удаления его из продукта выщелачивания путем проведения разделения твердое вещество-жидкость.

40 [00107] Например, указанная композиция может содержать HCl, по меньшей мере один ион металла и по меньшей мере один редкоземельный элемент.

[00108] Например, композиция может представлять собой кислую композицию, которая содержит по меньшей мере один ион металла и по меньшей мере один редкоземельный элемент.

45 [00109] Например, кислая композиция может содержать (i) по меньшей мере один редкоземельный элемент и необязательно по меньшей мере один редкий металл и (ii) FeCl_3 .

[00110] Например, по меньшей мере один ион железа может быть по существу селективно удален из указанной композиции путем проведения гидролиза с

превращением по меньшей мере одного иона железа в Fe_2O_3 и удаления осажденного Fe_2O_3 из указанной композиции путем проведения разделения твердое вещество-жидкость с получением раствора, содержащего по меньшей мере один редкоземельный элемент.

[00111] Например, после удаления осажденного Fe_2O_3 раствор, содержащий по меньшей мере один редкоземельный элемент, рециркулируют для дополнительного концентрирования путем использования при осаждении по меньшей мере одного иона алюминия.

[00112] Например, после удаления осажденного Fe_2O_3 раствор, содержащий по меньшей мере один редкоземельный элемент, рециркулируют для дополнительного концентрирования путем использования при осаждении по меньшей мере одного иона алюминия в форме $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

[00113] Например, по меньшей мере один ион железа может представлять собой Fe^{3+} и он может быть по существу селективно частично удален из указанной композиции, и причем указанную композицию можно дополнительно обрабатывать восстанавливающим агентом с превращением Fe^{3+} в Fe^{2+} и затем Fe^{2+} в форме FeCl_2 может быть удален из указанной композиции путем проведения разделения твердое вещество-жидкость с получением раствора, содержащего по меньшей мере один редкоземельный элемент.

[00114] Например, по меньшей мере один редкоземельный элемент можно по существу селективно осадить, экстрагировать и/или выделить из раствора с помощью жидкость-жидкостной экстракции.

[00115] Например, по меньшей мере один редкоземельный элемент можно экстрагировать из раствора с помощью жидкость-жидкостной экстракции.

[00116] Например, по меньшей мере один редкоземельный элемент можно извлечь из раствора с помощью жидкость-жидкостной экстракции.

[00117] Например, по меньшей мере один экстрагирующий агент может быть выбран из ди-(2-этилгексил)ортофосфорной кислоты (HDEHP), моно(2-этилгексил)2-этилгексилфосфоната (HEN/ENP), бис(2,4,4-триметилпентил)монотиофосфиновой кислоты), октилфенилфосфата (OPAP), моно-2-этилгексилового эфира 2-этилгексилфосфоновой кислоты (PC88A) и необязательно толуола, трибутилфосфата, ди-изоамилметилфосфоната, 7-(4-этил-1-метилоктил)-8-гидроксихинолина, ди-(2-этилгексил)фосфиновой кислоты, бис(2,4,4-триметилпентил)фосфиновой кислоты, 8-гидроксихинолина и (2-этилгексил)фосфоновой кислоты и их смесей.

[00118] Например, по меньшей мере один экстрагирующий агент может представлять собой ди-(2-этилгексил)ортофосфорную кислоту.

[00119] Например, по меньшей мере один экстрагирующий агент может представлять собой моно-2-этилгексиловый эфир 2-этилгексилфосфоновой кислоты.

[00120] Например, по меньшей мере один экстрагирующий агент может представлять собой октилфенилфосфат.

[00121] Например, по меньшей мере один экстрагирующий агент может представлять собой трибутилфосфат.

[00122] Например, по меньшей мере один экстрагирующий агент может быть выбран из диэтиленetriаминпентауксусной кислоты (DTPA), этилендиаминтетрауксусной кислоты (EDTA), 1,4,7,10-тетраазациклододекан-1,4,7,10-тетрауксусной кислоты (DOTA), бис(2,4,4-триметилпентил)монотиофосфиновой кислоты и их смесей.

[00123] Согласно одному из примеров, при по существу селективном осаждении, экстрагировании и/или выделении по меньшей мере одного редкоземельного элемента из продукта выщелачивания и/или осадка по меньшей мере один редкоземельный элемент, обнаруживаемый в виде иона в продукте выщелачивания, может быть осажден.

[00124] Например, скандий может быть осажден в форме $\text{Sc}(\text{OH})_3$, ScCl_3 , ScF_3 , и/или $[\text{ScF}_6]^{3-}$ (катион), где катион может представлять собой натрий, калий, магний, кальций и т.д.

[00125] Скандий может быть осажден при pH от примерно 7 до примерно 9 или от примерно 7 до примерно 8.

[00126] Например, выщелачивание можно проводить при pH от примерно 0,5 до примерно 2,5, от примерно 0,5 до примерно 1,5 или примерно 1; затем второй ион металла может быть осажден при pH, составляющем по меньшей мере примерно 9,5, 10, 10,5, 11, или 11,5; и затем первый ион металла может быть осажден при pH от

[00127] Например, второй ион металла может быть осажден при pH от примерно 10 до примерно 12,5, от 10,5 до примерно 11,5, от примерно 10,8 до примерно 11,2, от примерно 11,5 до примерно 12,5 или от 10 до 11.

[00128] Например, осаждение первого иона металла можно проводить при pH от примерно 7 до примерно 11, от примерно 8 до примерно 10,5, от примерно 8,5 до 10 или от примерно 9 до примерно 10.

[00129] Например, осаждение второго иона металла можно проводить при pH от примерно 3 до примерно 6, от примерно 3,0 до примерно 5,5, от примерно 3 до примерно 5, от примерно 3 до примерно 4, от примерно 3,0 до примерно 3,5, от примерно 3,5 до примерно 4,0, от примерно 4,0 до примерно 5,0, от примерно 4,0 до примерно 4,5 или от примерно 4,5 до примерно 5,0.

[00130] Например, осаждение первого иона металла можно проводить при pH от примерно 5 до примерно 6, от примерно 5,0 до примерно 5,5, или от примерно 5,5 до примерно 6,0.

[00131] Например, при осаждении AlCl_3 , высококонцентрированный сухой газообразный HCl при примерно 90 до примерно 98% можно барботировать в указанную композицию, содержащую по меньшей мере один ион железа, по меньшей мере один ион алюминия и по меньшей мере один редкоземельный элемент.

[00132] Например, при проведении гидролиза по меньшей мере одного иона железа с превращением по меньшей мере одного иона железа в Fe_2O_3 и удалении Fe_2O_3 , pH в ходе гидролиза может составлять примерно ниже 2,5, 2,0, 1,5 или 1,0.

[00133] Согласно другому примеру раствор может содержать по меньшей мере один редкоземельный элемент в форме хлорида, причем указанный раствор можно подвергать взаимодействию с экстрагирующим агентом с целью осуществления по существу селективной экстракции из него галлия с получением раствора, не содержащего Ga, и раствора экстрагированного галлия, и отделение растворов друг от друга. Например, галлий в указанном растворе может быть в форме GaCl_3 . Например, экстрагирующий агент может представлять собой октилфенилфосфат, моно-2-этилгексиловый эфир 2-этилгексилфосфоновой кислоты и толуол, трибутилфосфат или их смеси. Например, экстрагированный GaCl_3 можно затем осаждать и затем превращать в Ga_2O_3 . Последний можно дополнительно обрабатывать посредством плазменной горелки для очистки до примерно 99,5%.

[00134] Например, раствор, не содержащий Ga, можно затем подвергать

взаимодействию с другим экстрагирующим агентом с целью по существу селективной экстракции из него церия с получением, таким образом, раствора, не содержащего Ce, и раствора экстрагированного церия, и отделение указанных растворов один от другого. Например, церий в растворе, не содержащем Ga, может быть в форме CeCl_3 . Например,

5 другой экстрагирующий агент может представлять собой трибутилфосфат, ди-изоамилметилфосфонат, ди-(2-этилгексил)ортофосфорную кислоту, 7-(4-этил-1-метилоктил)-8-гидроксихинолин или их смеси. Например, способ может дополнительно включать превращение экстрагированного церия в Ce_2O_3 . Например, экстрагированный церий может быть обожжен до Ce_2O_3 . Если экстрагированный церий находится в форме хлорида, HCl может быть извлечена (или регенерирована) с такого способа обжига. Например, HCl может быть регенерирована при ее азеотропной концентрации.

10 [00135] Например, способ может дополнительно включать взаимодействие раствора, не содержащего Sc, с дополнительным экстрагирующим агентом с целью по существу селективной экстракции из него скандия с получением, таким образом, раствора, не содержащего Sc, и раствора экстрагированного скандия, и отделение указанных растворов один от другого. Например, скандий в растворе, не содержащем Ce, может быть в форме ScCl_3 . Например, дополнительный экстрагирующий агент может представлять собой ди-(2-этилгексил)ортофосфорную кислоту, ди-(2-этилгексил) фосфиновую кислоту или их смесь. Например, способ может дополнительно включать превращение экстрагированного скандия в Sc_2O_3 . Например, экстрагированный скандий можно превращать в Sc_2O_3 с помощью NaOH. Экстрагированный скандий можно обжигать с получением Sc_2O_3 . Если экстрагированный скандий находится в форме хлорида, HCl может быть извлечена (или регенерирована) с такого способа обжига. Например, HCl может быть регенерирована при ее азеотропной концентрации.

25 [00136] Например, способ может дополнительно включать взаимодействие раствора, не содержащего Sc, с еще одним дополнительным экстрагирующим агентом с целью по существу селективной экстракции самария, европия или их смеси с получением раствора, не содержащего Sm, и/или раствора, не содержащего Eu, и раствора экстрагированных самария и/или европия, и отделение указанных растворов один от другого. Например, указанный еще один дополнительный экстрагирующий агент может быть выбран из бис(2,4,4-триметилпентил)фосфиновой кислоты, ди-(2-этилгексил) ортофосфорной кислоты и их смеси.

35 [00137] Например, способ может дополнительно включать взаимодействие раствора, не содержащего Sm, и/или раствора, не содержащего Eu, с еще одним дополнительным экстрагирующим агентом с целью по существу селективной экстракции гадолиния с получением, таким образом, раствора, не содержащего Gd, и раствора экстрагированного гадолиния, и отделение указанных растворов один от другого. Например, указанный еще один дополнительный экстрагирующий агент может представлять собой 8-гидроксихинолин.

40 [00138] Например, способ может дополнительно включать взаимодействие раствора, не содержащего Gd, с еще одним дополнительным экстрагирующим агентом с целью по существу селективной экстракции иттрия с получением, таким образом, раствора, не содержащего Y, и раствора экстрагированного иттрия, и отделение указанных растворов один от другого. Например, указанный еще один дополнительный экстрагирующий агент может представлять собой (2-этилгексил)фосфиновую кислоту, ди-(2-этилгексил)фосфиновую кислоту или их смесь.

[00139] Например, способ может дополнительно включать взаимодействие раствора,

не содержащего Y, с еще одним дополнительным экстрагирующим агентом с целью по существу селективной экстракции диспрозия и/или эрбия с получением раствора, не содержащего Dy, и/или раствора, не содержащего Er, и раствора экстрагированного диспрозия и/или эрбия, и отделение указанных растворов один от другого.

5 [00140] Согласно другому примеру раствор можно подвергать взаимодействию с первым экстрагирующим агентом с целью по существу селективной экстракции из него галлия с получением, таким образом, раствора, не содержащего Ga, и раствора экстрагированного галлия, и отделение указанных растворов один от другого.

[00141] Например, галлий в указанном растворе может быть в форме GaCl_3 .

10 Например, первый экстрагирующий агент может представлять собой трибутилфосфат, необязательно в керосине.

[00142] Например, раствор, не содержащий Ga, можно подвергать взаимодействию с осаждающим агентом для осаждения по меньшей мере одного редкоземельного элемента, присутствующего в растворе, не содержащем Ga, с получением, таким образом, 15 осадка, содержащего по меньшей мере один редкоземельный элемент, и извлечением указанного осадка посредством разделения твердое вещество-жидкость.

[00143] Например, способ может дополнительно включать выщелачивание указанного осадка по меньшей мере одной кислотой с получением раствора после выщелачивания, содержащего по меньшей мере один редкоземельный элемент. Например, кислота 20 может представлять собой HCl . Например, указанный раствор после выщелачивания можно подвергать взаимодействию со вторым экстрагирующим агентом с по существу селективной экстракцией первой группы редкоземельных элементов с получением раствора, содержащего экстрагированные редкоземельные элементы первой группы, и рафината, содержащего вторую группу редкоземельных элементов, и отделение 25 раствора от рафината. Например, первая группа может содержать иттрий и скандий. Например, вторая группа может содержать церий, неодим, европий и празеодим. Например, второй экстрагирующий агент может быть выбран из ди-(2-этилгексил) ортофосфорной кислоты и моно-2-этилгексилового эфира 2-этилгексилфосфоновой кислоты.

30 [00144] Например, способ может дополнительно включать по меньшей мере однократное взаимодействие раствора, содержащего экстрагированные редкоземельные элементы первой группы, с HCl с удалением из него примесей. Например, HCl может быть в азеотропной концентрации или она может иметь очень высокую концентрацию, такую как 95 масс.%. 35

[00145] Например, способ может дополнительно включать реэкстракцию раствора, содержащего экстрагированные редкоземельные элементы первой группы, по меньшей мере одной кислотой с получением раствора после реэкстракции первой группы. Например, по меньшей мере одна кислота может представлять собой HCl .

40 [00146] Например, способ может дополнительно включать повторение по меньшей мере однократной экстракции со вторым экстрагирующим агентом.

[00147] Например, раствор после реэкстракции первой группы можно подвергать взаимодействию с третьим экстрагирующим агентом с по существу селективной экстракцией по меньшей мере одного из скандия, эрбия и диспрозия из раствора после реэкстракции первой группы с получением раствора, содержащего экстрагированный 45 по меньшей мере один из скандия, эрбия и диспрозия, и рафината иттрия, и отделение указанного раствора от рафината. Например, третий экстрагирующий агент может представлять собой трибутилфосфат.

[00148] Например, способ может дополнительно включать реэкстракцию раствора,

содержащего экстрагированный по меньшей мере один раствор скандия, эрбия и диспрозия, по меньшей мере одной кислотой с получением другого раствора после реэкстракции первой группы. Например, по меньшей мере одна кислота может представлять собой HCl.

5 [00149] Например, другой раствор после реэкстракции первой группы можно подвергать взаимодействию с четвертым экстрагирующим агентом с по существу селективной экстракцией эрбия и диспрозия из другого раствора после реэкстракции первой группы с получением раствора, содержащего экстрагированный эрбий и диспрозий, и рафината скандия, и отделение указанного раствора от указанного
10 рафината.

[00150] Например, другой раствор после реэкстракции первой группы можно подвергать взаимодействию с четвертым экстрагирующим агентом с по существу селективной экстракцией скандия из другого раствора после реэкстракции первой группы с получением раствора, содержащего экстрагированный скандий, и рафината,
15 содержащего эрбий и диспрозий, и отделение указанного раствора от указанного рафината.

[00151] Например, по меньшей мере один редкоземельный элемент можно по существу селективно осаждать, экстрагировать и/или выделять с помощью адсорбции на активированном угле, необязательно модифицированном трибутилфосфатом, или на
20 пенополиуретане на основе простых полиэфиров (PUF).

[00152] Например, по меньшей мере один редкоземельный элемент может быть по существу селективно удален с помощью жидкость-жидкостной экстракции. Например, жидкость-жидкостную экстракцию можно проводить путем использования экстрагирующего агента.

25 [00153] Например, способ может включать селективное осаждение по меньшей мере двух составляющих, выбранных из по меньшей мере одного редкоземельного элемента, находящегося в форме ионов, второго иона металла и первого иона металла. Например, каждое из указанных составляющих может быть осаждено раздельно или совместно.

[00154] Согласно другому примеру способы могут включать:

30 выщелачивание по меньшей мере одного материала HCl с получением продукта выщелачивания, содержащего первый ион металла, второй ион металла и по меньшей мере один редкоземельный элемент, и твердого вещества, и отделение указанного продукта выщелачивания от твердого вещества;

по существу селективное удаление второго иона металла из продукта выщелачивания
35 с получением композиции, содержащей первый ион металла и по меньшей мере один редкоземельный элемент; и

по существу селективное по меньшей мере частичное удаление первого иона металла из указанной композиции с получением раствора, содержащего по меньшей мере один редкоземельный элемент.

40 [00155] Согласно другому примеру способы могут включать:

выщелачивание по меньшей мере одного материала HCl с получением продукта выщелачивания, содержащего первый ион металла, второй ион металла, и по меньшей мере один редкоземельный элемент, и твердого вещества, и отделение указанного продукта выщелачивания от твердого вещества;

45 по существу селективное удаление второго иона металла из продукта выщелачивания с получением композиции, содержащей первый ион металла и по меньшей мере один редкоземельный элемент; и

по существу селективное по меньшей мере частичное удаление первого иона металла

из указанной композиции с получением раствора, содержащего по меньшей мере один редкоземельный элемент.

[00156] Согласно другому примеру выщелачивание можно проводить при pH от примерно 0,5 до примерно 2,5, затем второй ион металла может быть осажден при pH по меньшей мере примерно 9,5, затем первый ион металла может быть осажден при pH от примерно 8 до примерно 9 и затем по меньшей мере один ион скандия может быть осажден при pH от примерно 7 до примерно 8.

[00157] Согласно другому примеру выщелачивание можно проводить при pH от примерно 0,5 до примерно 1,5, затем второй ион металла может быть осажден при pH по меньшей мере примерно 10,5, затем первый ион металла может быть осажден при pH от примерно 8 до примерно 9 и затем по меньшей мере один ион скандия может быть осажден при pH от примерно 7 до примерно 8.

[00158] Согласно другому примеру выщелачивание можно проводить при pH от примерно 0,5 до примерно 1,5, затем второй ион металла может быть осажден при pH по меньшей мере примерно 11, затем первый ион металла может быть осажден при pH от примерно 8 до примерно 9 и затем по меньшей мере один ион скандия может быть осажден при pH от примерно 7 до примерно 8.

[00159] Например, скандий может быть осажден из побочного продукта, полученного в ходе указанного способа.

[00160] Например, скандий может быть осажден из раствора, полученного в ходе указанного способа. Например, скандий может быть осажден с применением HNO_3 .

[00161] Например, по меньшей мере один редкоземельный элемент можно по существу селективно осаждать, экстрагировать и/или выделять посредством по меньшей мере одной методики, выбранной из ионообменной смолы, экстракции с помощью растворителя(лей) и адсорбции.

[00162] Например, по меньшей мере один редкоземельный элемент можно по существу селективно осаждать, экстрагировать и/или выделять с помощью ионообменной смолы.

[00163] Например, по меньшей мере один редкоземельный элемент можно по существу селективно осаждать, экстрагировать и/или выделять с помощью жидкость-жидкостной экстракции.

[00164] Например, по меньшей мере один редкоземельный элемент можно по существу селективно осаждать, экстрагировать и/или выделять с помощью способа электроэкстракции.

[00165] Согласно другому примеру выщелачивание можно проводить при pH от примерно 0,5 до примерно 2,5, затем второй ион металла может быть осажден при pH по меньшей мере примерно 9,5, затем первый ион металла может быть осажден при pH от примерно 8 до примерно 9 и затем по меньшей мере один редкоземельный элемент может быть по существу селективно экстрагирован.

[00166] Согласно другому примеру выщелачивание можно проводить при pH от примерно 0,5 до примерно 1,5, затем второй ион металла может быть осажден при pH по меньшей мере примерно 10,5, затем первый ион металла может быть осажден при pH от примерно 8 до примерно 9 и затем по меньшей мере один редкоземельный элемент может быть по существу селективно экстрагирован.

[00167] Согласно другому примеру выщелачивание можно проводить при pH от примерно 0,5 до примерно 1,5, затем второй ион металла может быть осажден при pH по меньшей мере примерно 11, затем первый ион металла может быть осажден при pH от примерно 8 до примерно 9 и затем по меньшей мере один редкоземельный элемент может быть по существу селективно экстрагирован.

[00168] Например, соотношение по меньшей мере одного материала/кислоты может составлять примерно 1/10 в расчете на объемную массу.

[00169] Согласно другому примеру способы могут дополнительно включать по меньшей мере одно из следующего

- 5 по меньшей мере частичное удаление второго иона металла из продукта выщелачивания путем по существу образования комплекса второго иона металла с экстрагирующим агентом;
- селективное осаждение второго иона металла;
- селективное осаждение первого иона металла; и
- 10 по меньшей мере частичное удаление первого иона металла из продукта выщелачивания путем по существу образования комплекса первого иона металла с другим экстрагирующим агентом.

[00170] Согласно другому примеру способы включают:

- 15 выщелачивание по меньшей мере одного материала HCl с получением продукта выщелачивания, содержащего первый ион металла и второй ион металла, и остатка твердого вещества, и отделение указанного продукта выщелачивания от остатка твердого вещества;
- по меньшей мере частичное удаление второго иона металла из продукта выщелачивания путем по существу селективного осаждения второго иона металла
- 20 путем взаимодействия продукта выщелачивания с основанием с получением водной композиции, обогащенной первым ионом металла и содержащей по меньшей мере один редкий элемент и осадок, и удаление указанного осадка из указанной композиции;
- очистку указанной водной композиции путем по существу селективного осаждения первого иона металла с получением другой композиции, содержащей по меньшей мере
- 25 один редкий элемент и другой осадок, удаление указанного осадка из указанной композиции; и
- по существу селективную экстракцию по меньшей мере одного редкого элемента из указанной другой композиции.

[00171] Согласно другому примеру способы могут включать:

- 30 выщелачивание по меньшей мере одного материала HCl с получением продукта выщелачивания, содержащего первый ион металла и второй ион металла, и остатка твердого вещества, и отделение указанного продукта выщелачивания от остатка твердого вещества,
- по меньшей мере частичное удаление второго иона металла из продукта
- 35 выщелачивания путем по существу селективного осаждения второго иона металла путем взаимодействия продукта выщелачивания с основанием с получением водной композиции, обогащенной первым ионом металла и содержащей по меньшей мере один редкий элемент и осадок, и удаление указанного осадка из указанной композиции;
- по существу селективную экстракцию первого иона металла из водной композиции
- 40 с помощью мембраны из полых волокон или путем жидкость-жидкостной экстракции, и удаление экстрагированного первого иона металла с получением водной композиции, обедненной первым ионом металла, содержащей по меньшей мере один редкий элемент;
- и
- по существу селективную экстракцию по меньшей мере одного редкого элемента из
- 45 водной композиции.

[00172] Согласно другому примеру способы могут включать:

выщелачивание по меньшей мере одного материала HCl с получением продукта выщелачивания, содержащего первого ион металла и второй ион металла, и остатка

твердого вещества, и отделение указанного продукта выщелачивания от остатка твердого вещества;

по меньшей мере частичное удаление второго иона металла из продукта выщелачивания путем по существу селективного образования комплекса второго иона металла с экстрагирующим агентом с получением водной композиции, обогащенной

первым ионом металла, содержащей по меньшей мере один редкоземельный элемент; очистку водной композиции путем по существу селективного осаждения первого иона металла с получением другой композиции, содержащей по меньшей мере один редкий элемент и другой осадок, удаление указанного осадка из указанной композиции;

и

по существу селективную экстракцию по меньшей мере одного редкого элемента из указанной другой композиции.

[00173] Согласно другому примеру способы могут включать:

выщелачивание по меньшей мере одного материала HCl с получением продукта выщелачивания, содержащего первый ион металла и второй ион металла, и остатка твердого вещества, и отделение указанного продукта выщелачивания от остатка твердого вещества;

по меньшей мере частичное удаление второго иона металла из продукта выщелачивания путем по существу селективного образования комплекса второго иона металла с экстрагирующим агентом с получением водной композиции, обогащенной первым ионом металла, содержащей по меньшей мере один редкоземельный элемент;

по существу селективную экстракцию первого иона металла из водной композиции с помощью мембраны из полых волокон или путем жидкость-жидкостной экстракции, и удаление экстрагированного первого иона металла с получением водной композиции, обедненной первым ионом металла, содержащей по меньшей мере один редкий элемент;

и по существу селективную экстракцию по меньшей мере одного редкого элемента из водной композиции, обедненной первым ионом металла.

[00174] Согласно другому примеру способы могут включать:

выщелачивание по меньшей мере одного материала HCl с получением продукта выщелачивания, содержащего первый ион металла и второй ион металла, и остатка твердого вещества, и отделение указанного продукта выщелачивания от остатка твердого вещества;

по меньшей мере частичное удаление первого иона металла из продукта выщелачивания путем по существу селективного осаждения первого иона металла с получением водной композиции, обогащенной вторым ионом металла, содержащей по меньшей мере один редкий элемент и осадок, и удаление указанного осадка из указанной композиции;

по существу селективное осаждение второго иона металла из водной композиции, обогащенной вторым ионом металла, и удаление из нее осадка с получением, таким образом, водной композиции, обедненной вторым ионом металла и содержащей по меньшей мере один редкий элемент; и

по существу селективную экстракцию по меньшей мере одного редкого элемента из водной композиции, обедненной вторым ионом металла.

[00175] Например, первый ион металла может включать по меньшей мере один ион алюминия.

[00176] Например, второй ион металла может включать по меньшей мере один ион железа.

[00177] Например, по меньшей мере один ион алюминия может быть осажден в форме $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ в кристаллизаторе, например, путем барботирования газообразного HCl .

5 [00178] Например, по меньшей мере один ион алюминия может быть осажден в форме $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ в кристаллизаторе, например, путем добавления HCl , имеющей концентрацию от примерно 26 до примерно 32 масс. %.

[00179] Например, по меньшей мере один ион железа может быть осажден в форме Fe_2O_3 путем, например, гидролиза.

10 [00180] Например, водная композиция, обогащенная первым ионом металла, может быть очищена путем образования комплекса первого иона металла с экстрагирующим агентом с получением комплекса, отделения указанного комплекса от указанной композиции и осаждения первого иона металла.

15 [00181] Например, водная композиция, обогащенная первым ионом металла, может быть очищена путем образования комплекса с примесями, содержащимися в водной композиции, обогащенной первым ионом металла, с экстрагирующим агентом, по меньшей мере частичного удаления примесей, связанных в комплекс, из указанной композиции и осаждения первого иона металла.

20 [00182] Например, редкоземельные элементы и редкие металлы, полученные посредством способов согласно настоящему изобретению, можно дополнительно очищать с помощью плазменной горелки. Например, редкоземельные элементы и редкие металлы, после выделения, можно по отдельности вводить в плазменную горелку для их дополнительной очистки. Примеры таких необязательных стадий очистки могут быть найдены на Фиг. 4C, 4D, 5F, 5G и 5H.

25 [00183] Например, кислые композиции согласно настоящему изобретению можно обрабатывать с помощью ионообменной смолы до экстракции по меньшей мере одного редкоземельного элемента и/или по меньшей мере редкого металла. Примеры таких стадий могут быть найдены, например, на Фиг. 3A, 4C, 5E и 5F.

30 [00184] Например, кислую композицию можно подвергать взаимодействию с $\text{Fe}(0)$ с получением композиции, имеющей пониженное содержание Fe^{3+} .

[00185] Например, первый редкоземельный элемент может представлять собой скандий.

[00186] Например, кислая композиция может содержать по меньшей мере один редкий металл.

35 [00187] Например, способы могут включать взаимодействие указанной композиции, имеющей пониженное содержание по меньшей мере одного иона железа, с осаждающим агентом с по существу селективным осаждением первого редкоземельного элемента и первого редкого металла.

[00188] Например, первый редкий металл может представлять собой галлий.

40 [00189] Например, осаждающий агент может быть выбран из щавелевой кислоты, NaOH , MgO , CaCO_3 и их смесей.

[00190] Например, осаждающий агент может представлять собой CaCO_3 .

45 [00191] Например, первый редкоземельный элемент и необязательно первый редкий металл по существу селективно осаждают путем поддержания значения pH ниже 2 или pH от примерно 1 до примерно 2.

[00192] Например, первый редкоземельный элемент и необязательно первый редкий металл по существу селективно осаждают путем поддержания окислительно-восстановительного потенциала примерно +380 мВ.

[00193] Например, способы могут включать взаимодействие указанной композиции, имеющей пониженное содержание по меньшей мере одного иона железа, с осаждающим агентом с по существу селективным осаждением первого редкоземельного элемента и первого редкого металла, содержащихся в образованном таким образом осадке, и

5 извлечение указанного осадка.

[00194] Например, способы могут дополнительно включать выщелачивание указанного осадка и получение раствора после выщелачивания.

[00195] Например, осадок можно выщелачивать с помощью HCl.

[00196] Например, HCl может иметь концентрацию от примерно 5 до примерно 15

10 моль/л.

[00197] Например, раствор после выщелачивания можно дополнительно экстрагировать экстрагирующим агентом с по существу селективной экстракцией первого редкоземельного элемента и первого редкого металла и получением насыщенной органической фазы.

15 [00198] Например, экстрагирующий агент может представлять собой трибутилфосфат, трибутилфосфат в керосине или трибутилфосфат в керосине и в присутствии изодеканала.

[00199] Например, способы могут дополнительно включать очистку насыщенной органической фазы очищающим раствором с извлечением первого редкоземельного

20 элемента и получением очищенной органической фазы.

[00200] Например, очищающий раствор может представлять собой кислый водный раствор, содержащий HCl в концентрации от примерно 2 до примерно 12 моль/л.

[00201] Например, очищающий раствор можно использовать при соотношении очищающий раствор: насыщенная органическая фаза, составляющем примерно 1:1.

25 [00202] Например, способы могут дополнительно включать реэкстракцию указанной очищенной органической фазы раствором для реэкстракции с извлечением первого редкого металла.

[00203] Например, раствор для реэкстракции может представлять собой воду.

[00204] Например, раствор для реэкстракции можно использовать при соотношении

30 раствор для реэкстракции: насыщенная органическая фаза, составляющем примерно 1:2.

[00205] Например, композицию, имеющую пониженное содержание по меньшей мере одного иона железа, можно подвергать взаимодействию с осаждающим агентом с получением жидкости, содержащей по меньшей мере один дополнительный

35 редкоземельный элемент, и осадка, содержащего первый редкоземельный элемент и первый редкий металл, способ дополнительно включает отделение указанной жидкости от указанного осадка.

[00206] Например, способ может дополнительно включать взаимодействие указанной жидкости с другим осаждающим агентом с получением другого осадка, и извлечение

40 указанного другого осадка.

[00207] Например, жидкость можно подвергать взаимодействию с другим осаждающим агентом при pH от примерно 7,8 до примерно 8,2 или примерно 7,9 до примерно 8,1.

[00208] Например, жидкость можно подвергать взаимодействию с другим осаждающим агентом путем поддержания окислительно-восстановительного потенциала

45 при примерно +340 мВ или при примерно +380 мВ.

[00209] Например, жидкость можно подвергать взаимодействию с другим осаждающим агентом путем поддержания температуры от примерно 50 до примерно

70°C.

[00210] Например, указанный другой осаждающий агент может быть выбран из щавелевой кислоты, NaOH, MgO, CaCO₃ и их смесей.

[00211] Например, указанный другой осаждающий агент может представлять собой CaCO₃.

[00212] Например, способы могут дополнительно включать выщелачивание указанного другого осадка и получение раствора после выщелачивания, содержащего второй редкоземельный элемент.

[00213] Например, указанный другой осадок можно выщелачивать с помощью HCl.

[00214] Например, раствор после выщелачивания, содержащий второй редкоземельный элемент, можно экстрагировать экстрагирующим агентом с по существу селективной экстракцией второго редкоземельного элемента и получением насыщенной органической фазы, содержащей второй редкоземельный элемент, и водной фазы, содержащей по меньшей мере один легкий редкоземельный элемент.

[00215] Например, экстрагирующий агент представляет собой ди(этилгексил)фосфоновую кислоту или ди(этилгексил)фосфоновую кислоту в керосине.

[00216] Например, способы могут дополнительно включать по меньшей мере частичное удаление третьего редкоземельного элемента из насыщенной органической фазы, содержащей второй редкоземельный элемент.

[00217] Например, способы могут дополнительно включать по меньшей мере частичное удаление третьего редкоземельного элемента из насыщенной органической фазы, содержащей второй редкоземельный элемент, путем обработки насыщенной органической фазы кислым очищающим раствором. Например, очищающий раствор может содержать 1 N HCl.

[00218] Например, третий редкоземельный элемент может представлять собой церий.

[00219] Например, способы могут дополнительно включать обработку насыщенной органической фазы, содержащей второй редкоземельный элемент, кислым раствором для реэкстракции с получением раствора после реэкстракции, содержащего второй редкоземельный элемент, и извлечение указанного раствора после реэкстракции. Например, указанный раствор после реэкстракции может содержать 3,5 N HCl.

[00220] Например, способы могут включать обработку раствора после реэкстракции, содержащего второй редкоземельный элемент, экстрагирующим агентом с по существу селективной экстракцией четвертого редкоземельного элемента и необязательно пятого редкоземельного элемента из раствора после реэкстракции, и получением рафината, содержащего второй редкоземельный элемент. Например, экстрагирующий агент может представлять собой трибутилфосфат или трибутилфосфат в керосине.

[00221] Например, четвертый редкоземельный элемент может представлять собой диспрозий.

[00222] Например, пятый редкоземельный элемент представляет собой эрбий.

[00223] Например, способы могут дополнительно включать взаимодействие органической фазы, содержащей четвертый редкоземельный элемент и необязательно пятый редкоземельный элемент, с раствором для реэкстракции с получением раствора после реэкстракции, содержащего пятый редкоземельный элемент и необязательно пятый редкоземельный элемент. Например, указанный раствор для реэкстракции может представлять собой воду.

[00224] Например, второй редкоземельный элемент представляет собой иттрий.

[00225] Например, раствор после выщелачивания, содержащий второй редкоземельный элемент, можно экстрагировать экстрагирующим агентом с по существу

селективной экстракцией второго редкоземельного элемента и получением насыщенной органической фазы, содержащей второй редкоземельный элемент, и рафината, содержащего по меньшей мере один легкий редкоземельный элемент. Например, экстрагирующий агент может представлять собой ди(этилгексил)фосфоновую кислоту или ди-(2-этилгексил)ортофосфорную кислоту.

[00226] Например, способы могут дополнительно включать по меньшей мере частичное удаление третьего редкоземельного элемента из насыщенной органической фазы, содержащей второй редкоземельный элемент.

[00227] Например, способы могут дополнительно включать по меньшей мере частичное удаление третьего редкоземельного элемента из насыщенной органической фазы, содержащей второй редкоземельный элемент, путем обработки указанной насыщенной органической фазы кислым очищающим раствором. Например, указанный очищающий раствор содержит от примерно 1 N до примерно 2 N HCl.

[00228] Например, способы могут дополнительно включать обработку насыщенной органической фазы, содержащей второй редкоземельный элемент, раствором для реэкстракции с получением раствора после реэкстракции, содержащего второй редкоземельный элемент. Указанный раствор для реэкстракции может содержать от примерно 3 M до примерно 4M HCl.

[00229] Например, раствор после реэкстракции, содержащей второй редкоземельный элемент, можно экстрагировать экстрагирующим агентом с удалением четвертого редкоземельного элемента и необязательно пятого редкоземельного элемента с получением рафината, содержащего второй редкоземельный элемент, и насыщенной органической фазы, содержащей четвертый редкоземельный элемент и необязательно пятый редкоземельный элемент. Например, указанный экстрагирующий агент представляет собой трибутилфосфат или трибутилфосфат в керосине.

[00230] Например, способы могут включать извлечение рафината, содержащего второй редкоземельный элемент.

[00231] Например, второй редкоземельный элемент может представлять собой иттрий.

[00232] Например, четвертый редкоземельный элемент может представлять собой диспрозий.

[00233] Например, пятый редкоземельный элемент может представлять собой эрбий.

[00234] Например, способы могут дополнительно включать взаимодействие насыщенной органической фазы, содержащей четвертый редкоземельный элемент и пятый редкоземельный элемент, с раствором для реэкстракции с получением раствора после реэкстракции, содержащего четвертый редкоземельный элемент и пятый редкоземельный элемент. Например, указанный раствор для реэкстракции может представлять собой воду.

[00235] Например, способы могут дополнительно включать взаимодействие раствора после реэкстракции с экстрагирующим агентом с по существу селективной экстракцией пятого редкоземельного элемента из раствора после реэкстракции с получением рафината, содержащего четвертый редкоземельный элемент, и насыщенной органической фазы, содержащей пятый редкоземельный элемент. Например, указанный экстрагирующий агент может представлять собой ди(этилгексил)фосфоновую кислоту или ди-(2-этилгексил)ортофосфорную кислоту.

[00236] Например, способы могут дополнительно включать отделение указанного рафината от насыщенной органической фазы, содержащей пятый редкоземельный элемент, обработку насыщенной органической фазы очищающим раствором с удалением из нее примесей и затем обработку насыщенной органической фазы раствором для

реэкстракции с получением раствора после реэкстракции, содержащего пятый редкоземельный элемент. Например, указанный очищающий раствор может содержать от примерно 2 М до примерно 4 М HCl.

5 [00237] Например, рафинат можно подвергать взаимодействию с окисляющим агентом с окислением третьего редкоземельного элемента. Например, указанный окисляющий агент может содержать гипохлорит натрия. Например, рафинат можно подвергать взаимодействию с окисляющим агентом при pH от примерно 0,5 до примерно 1,5.

10 [00238] Например, способы могут дополнительно включать удаление из указанного рафината окисленного третьего редкоземельного элемента в форме осадка с получением фильтрата, содержащего шестой редкоземельный элемент.

[00239] Например, способы могут дополнительно включать взаимодействие фильтрата с экстрагирующим агентом с по существу селективной экстракцией шестого редкоземельного элемента из указанного фильтрата с получением насыщенной органической фазы, содержащей шестой редкоземельный элемент, и другого рафината, содержащего седьмой редкоземельный элемент и восьмой редкоземельный элемент, и отделение указанной насыщенной органической фазы, содержащей шестой редкоземельный элемент от указанного рафината. Например, указанный экстрагирующий агент может представлять собой ди(этилгексил)фосфоновую кислоту или ди-(2-этилгексил)ортофосфорную кислоту.

[00240] Например, способы могут дополнительно включать обработку насыщенной органической фазы очищающим раствором с удалением из нее примесей и затем обработку насыщенной органической фазы раствором для реэкстракции с получением раствора после реэкстракции, содержащего шестой редкоземельный элемент. Например, 25 указанный очищающий раствор может содержать от примерно 0,5 М до примерно 1,5 М HCl. Например, указанный раствор для реэкстракции может содержать от примерно 2 М до примерно 3 М HCl.

[00241] Например, шестой редкоземельный элемент может представлять собой европий.

30 [00242] Например, седьмой редкоземельный элемент может представлять собой празеодим.

[00243] Например, восьмой редкоземельный элемент может представлять собой неодим.

[00244] Например, способы могут дополнительно включать восстановление шестого редкоземельного элемента с помощью восстанавливающего агента. Например, 35 указанный восстанавливающий агент может представлять собой цинк (0).

[00245] Например, способы могут дополнительно включать взаимодействие шестого редкоземельного элемента с сульфатом натрия с получением его сульфатного производного в форме осадка и извлечение указанного осадка.

40 [00246] Например, способы могут дополнительно включать взаимодействие рафината, содержащего седьмой редкоземельный элемент и восьмой редкоземельный элемент, с экстрагирующим агентом с по существу селективной экстракцией восьмого редкоземельного элемента из указанного рафината с получением насыщенной органической фазы, содержащей восьмой редкоземельный элемент, рафината, 45 содержащего седьмой редкоземельный элемент, и отделение указанной насыщенной органической фазы, содержащей восьмой редкоземельный элемент, от указанного рафината. Например, указанный экстрагирующий агент может представлять собой ди(этилгексил)фосфоновую кислоту или ди-(2-этилгексил)ортофосфорную кислоту.

[00247] Например, способы могут дополнительно включать обработку насыщенной органической фазы очищающим раствором с удалением из нее примесей и затем обработку насыщенной органической фазы раствором для реэкстракции с получением раствора после реэкстракции, содержащего восьмой редкоземельный элемент. Например, указанный очищающий раствор может содержать от примерно 2 М до примерно 3 М HCl. Например, указанный раствор для реэкстракции может содержать от примерно 3 М до примерно 4 М HCl.

[00248] Например, способы могут дополнительно включать, предварительную обработку или обработку кислой композиции ионообменной смолой с удалением примесей.

[00249] Например, способы могут дополнительно включать, до экстракции по меньшей мере одного редкоземельного элемента и необязательно по меньшей мере одного редкого металла из кислой композиции, обработку указанной кислой композиции ионообменной смолой с по меньшей мере частичным удалением из нее примесей.

[00250] Например, способы могут дополнительно включать обработку по меньшей мере одного редкоземельного элемента и необязательно по меньшей мере одного редкого металла, экстрагированных посредством способа, с помощью плазменной горелки с дополнительной очисткой по меньшей мере одного редкоземельного элемента и необязательно по меньшей мере одного редкого металла.

[00251] Согласно другому примеру способы могут включать:

1- выщелачивание аргиллита по меньшей мере одной кислотой (например, раствором HCl или газообразным HCl (например, при pH от примерно 0,5 до примерно 1,5 или примерно 0,8 до примерно 1, 2). Указанное выщелачивание можно также проводить под давлением;

2- удаление железа путем ионного осаждения путем повышения pH от примерно 10 до примерно 12 или от примерно 11 до примерно 12 (или экстрагирования его с экстрагирующими агентами) и отфильтровывание всех нерастворимых гидроксидов;

3- осаждение алюминия при pH от примерно 7,5 до примерно 9,0 или от примерно 7,8 до примерно 8,2 и отфильтровывание гидроксида алюминия в виде твердого вещества;

4- необязательно очистку алюминия ($Al(OH)_3$) с использованием по меньшей мере одного из жидкость-жидкостной экстракции, мембраны и экстрагирующего агента, подходящего для образования комплекса с ионами алюминия; и

5- осаждение, экстрагирование и/или выделение по меньшей мере одного редкоземельного элемента можно проводить после по меньшей мере одной из стадий 1, 2, 3 и 4.

[00252] Для получения более подробной информации и разъяснений относительно по меньшей мере некоторых частей стадий 1-4 можно обратиться к WO 2008141423, содержание которого включено в настоящую заявку посредством ссылки во всей полноте.

[00253] Согласно другому примеру способы могут включать:

1- выщелачивание аргиллита кислотой (например, раствором HCl 18-32 масс.%. Указанное выщелачивание можно также проводить под давлением, таким как от примерно 350 КПа изб. до примерно 500 КПа изб. в течение от примерно 4 до примерно 7 часов;

2- удаление железа путем ионного осаждения путем повышения pH от примерно 10 до примерно 12 или от примерно 11 до примерно 12 (или экстрагирования его с экстрагирующими агентами) и отфильтровывание всех нерастворимых гидроксидов;

3- осаждение алюминия при pH от примерно 7,5 до примерно 9,0 или от примерно 7,8 до примерно 8,2 и отфильтровывание гидроксида алюминия в виде твердого вещества о;

4- необязательно очистку алюминия ($\text{Al}(\text{OH})_3$) с использованием по меньшей мере одного из жидкость-жидкостной экстракции, мембраны и экстрагирующего агента, подходящего для образования комплекса с ионами алюминия; и

5- осаждение, экстрагирование и/или выделение по меньшей мере одного редкоземельного элемента можно проводить после по меньшей мере одной из стадий 1, 2, 3 и 4.

10 [00254] Согласно другому примеру, показанному на Фиг. 1, способы могут включать следующие стадии (ссылочные номера на Фиг. 1 соответствуют следующим стадиям):

1- Алюминийсодержащий материал уменьшают до среднего размера частиц от примерно 50 до примерно 80 мкм.

15 2- Уменьшенный и разделенный по размеру материал обрабатывают соляной кислотой, которая обеспечивает растворение при заданной температуре и давлении алюминия с другими элементами, такими как железо, магний и другие металлы, включая редкоземельные. Диоксид кремния (и необязательно титан) остаются полностью нерастворенными.

20 3- Затем маточный раствор со стадии выщелачивания подвергают разделению, стадии очистки с целью отделения очищенного диоксида кремния от хлорида металла в растворе. Затем очищенный диоксид кремния можно подвергать одной или двум дополнительным стадиям выщелачивания (например, при температуре от примерно 150 до примерно 160°C) с повышением степени чистоты диоксида кремния до значения выше 99,9%. TiO_2 , содержащийся в диоксиде кремния, можно отделять от диоксида кремния посредством выщелачивания, выполненного путем использования HCl и MgCl_2 в качестве выщелачивающей композиции.

30 4- Затем повышают концентрацию отработанной кислоты (продукта выщелачивания), полученной на стадии 1, с помощью сухого и высококонцентрированного газообразного хлороводорода путем его барботирования в кристаллизатор. Это приводит к кристаллизации гексагидрата хлорида алюминия (осадка) с минимальным количеством других примесей. В зависимости от концентрации хлорида железа на этой стадии может понадобиться дополнительная стадия(-ии) кристаллизации. Затем осадок отделяют от жидкости.

35 5- Затем гексагидрат хлорида алюминия обжигают (например, с помощью вращающейся обжиговой печи, псевдоожиженного слоя и т.д.) при высокой температуре с целью получения требуемого оксида алюминия. Затем высококонцентрированный газообразный хлороводород извлекают и избыток переводят в водную форму с максимально возможной концентрацией с целью дальнейшего использования (повторного использования) на стадии кислотного выщелачивания. Кислоту можно также непосредственно направлять в газовой фазе на стадию очистки с повышением концентрации HCl от примерно 30 масс.% до примерно 95 масс.%. Это можно осуществлять, например, в ходе стадии сушки или перегонки.

40 6- Затем хлорид железа, редкоземельные элементы и редкие металлы (жидкость, полученная на стадии 4) предварительно концентрируют и гидролизуют при низкой температуре для экстракции Fe_2O_3 (форма гематита) и извлечения кислоты после гидролиза. Все тепло, регенерированное со стадии обжига (стадия 5), части экзотермической реакции выщелачивания (стадия 1) и других секций способа,

возвращают в предварительный концентратор.

10- После удаления гематита и внутренней рециркуляции в кристаллизатор, раствор, обогащенный редкоземельными элементами, можно переработать путем использования любых способов, описанных в настоящем описании, для извлечения редкоземельных элементов из алюминийсодержащих материалов. Например, извлеченные редкоземельные элементы могут быть в различных формах, таких как оксиды, хлориды, гидроксиды и т.д. Как ранее указывалось в настоящем описании, выражение «редкоземельный элемент» может также охватывать «редкий металл» и, таким образом, на стадии 10 можно также извлекать редкие металлы. Например, редкие металлы могут быть в форме оксидов редких металлов. Таким образом, на Фиг. 1 и 2 стадия 10 может представлять собой, например, способы, показанные на Фиг. 3 или на Фиг. 4а и 4б.

Затем другие негидролизующие хлориды металлов (Me-Cl), такие как $MgCl_2$ и другие, подвергают следующим стадиям:

7- Затем раствор, обогащенный хлоридом магния и другими негидролизующими продуктами при низкой температуре, концентрируют с помощью сухого и высококонцентрированного газообразного хлороводорода путем барботирования его в кристаллизатор. Это приводит к осаждению хлорида магния в виде гексагидрата.

8- Затем гексагидрат хлорида магния обжигают (например, с помощью вращающейся обжиговой печи, псевдоожиженного слоя и т.д.) и соляную кислоту при очень высокой концентрации регенерируют и возвращают на стадию выщелачивания.

9- Другие Me-Cl подвергают стандартной стадии пирогидролиза, согласно которой можно получить смешанные оксиды, и регенерируют соляную кислоту в азеотропной точке (20,2% масс.).

[00255] Например, жидкость можно концентрировать до концентрированной жидкости, имеющей концентрацию хлорида железа по меньшей мере 26% по массе; и затем указанный хлорид железа может быть гидролизован при температуре от примерно 155 до примерно 350°C, при поддержании концентрации хлорида железа (III) хлорида на уровне по меньшей мере 65% по массе с получением композиции, содержащей жидкости и осажденный гематит, и извлечение указанного гематита.

[00256] Например, жидкость можно концентрировать до концентрированной жидкости, имеющей концентрацию хлорида железа по меньшей мере 26% по массе; и затем указанный хлорид железа может быть гидролизован при температуре от примерно 155 до примерно 350°C, при поддержании концентрации хлорида железа (III) хлорида на уровне по меньшей мере 65% по массе с получением композиции, содержащей жидкость и осажденный гематит, и извлечение указанного гематита; и извлечение редкоземельных веществ из указанной жидкости. Например, способ может дополнительно включать, после извлечения редкоземельных веществ, взаимодействие указанной жидкости с HCl, чтобы вызвать осаждение $MgCl_2$, и его извлечение.

[00257] Как упоминалось ранее, различные алюминийсодержащие материалы можно использовать в качестве исходного материала для способов, описанных в настоящем изобретении. Были приведены примеры с глинами и бокситами. Однако специалисту в данной области техники будет понятно, что непрерывные способы можно осуществлять при высоких содержаниях диоксида кремния (>55%) и примесей, а также при относительно низком содержании алюминия (например, только примерно 15%), и они остаются экономически и технически оправданными. Удовлетворительные выходы могут быть получены (>93-95%) для Al_2O_3 и более 75%, 85% или 90% для редкоземельных элементов и редких металлов. В большинстве случаев не требуется предварительная

термическая обработка. Способы, описанные в настоящем изобретении, включают специальные методики выщелачивания и извлечения кислоты с очень высокой эффективностью, обеспечивая тем самым несколько преимуществ относительно щелочных способов. В настоящем способе не образуются твердые остатки, как при щелочных способах, который также имеет преимущество в полностью интегрированном цикле извлечения HCl.

[00258] На стадии 1 минерал, независимо от того, обработан ли он термически или нет, разбивают, измельчают, сушат и разделяют по размерам с получением среднего размера частиц от примерно 50 до примерно 80 мкм.

[00259] На стадии 2, измельченный исходный материал вводят в реактор и подвергают фазе выщелачивания.

[00260] Соляная кислота для выщелачивания, используемая на стадии 2, представляет собой повторно используемую или регенерированную кислоту со стадий 5, 6, 8 и 9, и ее концентрацию можно регулировать от 15% до 45% масс.%. Более высокую концентрацию можно получить с использованием мембранного разделения, криогенного подхода и/или подхода с использованием высокого давления. Кислотное выщелачивание можно проводить под давлением и при температуре, близкой к ее температуре кипения, таким образом, обеспечивая минимальное время расщепления и увеличенную продолжительность реакции (90%-100%). Выщелачивание (стадия 2) можно осуществлять в полунепрерывном режиме, согласно которому отработанную кислоту с остаточной свободной соляной кислотой заменяют высококонцентрированной кислотой на некоторых стадиях реакции, или оставляя пониженное соотношение кислота/минерал, тем самым уменьшая время реакции и улучшая кинетику реакции. Например, константа кинетики реакции k может составлять: 0,5-0,75 г/моль·л или 0,75-1,10 г/моль·л.

[00261] Как указывалось ранее, щелочные металлы, железо, магний, кальций, калий, редкоземельные элементы и другие элементы будут также в форме хлоридов на разных стадиях. Диоксид кремния и титан могут остаться нерастворенными и будут подвергаться (стадия 3) разделению жидкость/твердое вещество и стадии очистки. Способы согласно настоящему изобретению позволяют извлечь максимальное количество оставшейся свободной соляной кислоты и хлоридов в раствор с целью максимизировать выход при извлечении соляной кислоты с использованием методик, таких как реечное разделение по размерам, фильтрации с ленточными фильтрами, центрифугирования и других. Маточный раствор, не содержащий диоксид кремния, затем называют отработанной кислотой (различные хлориды металлов и вода) и направляют на стадию кристаллизации (стадия 4).

[00262] Затем на стадии 4 отработанную кислоту (или продукт выщелачивания) со значительным количеством хлорида алюминия насыщают сухим и высококонцентрированным газообразным хлороводородом, полученным или рециркулированным на стадии 5, что приводит к осаждению гексагидрата хлорида алюминия ($\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Затем указанный оставшийся осадок фильтруют или центрифугируют до подачи на стадию обжига (стадия 5). Затем оставшуюся отработанную кислоту со стадии 4 обрабатывают в системе извлечения кислоты (стадии 6-8), где будут получены чистые вторичные продукты.

[00263] На стадии 5 оксид алюминия (оксид алюминия) непосредственно получают в условиях высокой температуры. Полученный высококонцентрированный хлороводород в газообразной форме можно подавать на стадии 4 и 7 для кристаллизации. Избыточный хлороводород абсорбируют и используют в качестве регенерированной кислоты на стадии выщелачивания 2 в качестве

высококонцентрированной кислоты с концентрацией выше, чем концентрация в азеотропной точке (>20,2%). Например, такая концентрация может составлять от примерно 25 до примерно 45 масс.% или от 25 до 36 масс.%. Кислоту можно также перенаправить непосредственно в газовой фазе (>30 масс.%) на очистку кислоты.

5 [00264] Затем после стадии 4 различные хлоридные производные (в основном хлориды железа, хлорид магния и редкоземельные элементы в форме хлоридов) подвергают стадии экстракции железа. Данную стадию можно проводить, например, путем использования методики, описанной в WO 2009/153321, которая включена в настоящую заявку посредством ссылки во всей полноте. Кроме того, гематит можно вносить в
10 качестве затравки для роста кристаллов.

[00265] На стадии 6 проводят гидролиз при низкой температуре (155-350°C) и получают чистый Fe_2O_3 (гематит) и регенерируют соляную кислоту с по меньшей мере 15% концентрацией. Способ, описанный в WO 2009/153321, представляет собой переработку раствора хлорида железа (II) и хлорида железа (III), возможно их смесей
15 и свободной соляной кислоты посредством последовательностей стадий, стадии предварительного концентрирования, стадии окисления, где хлорид железа (II) окисляют до хлорида железа (III) и, наконец, посредством стадии гидролиза в исполнительном устройстве, называемом гидролизатор, где концентрацию хлорида железа (II) поддерживают при 65 масс.% с получением обогащенного газового потока, причем
20 концентрация гарантирует обеспечение концентрации хлороводорода 15-20,2% и чистый гематит, который будет подвергнут стадии физического разделения. Скрытую теплоту конденсации извлекают для предварительного концентрирования и используют в качестве подводимой теплоты с избытком теплоты со стадии обжига (стадия 5).

[00266] Маточный раствор, оставшийся после гидролизатора (стадия 6), после
25 удаления железа, обогащен другими негидролизруемыми - элементами и в основном содержит хлорид магния или возможную смесь других элементов (различных хлоридов) и редкоземельных элементов.

[00267] Редкоземельные элементы в форме хлоридов концентрируют до высокой степени в процентном отношении в исполнительном устройстве, представляющем
30 собой, гидролизатор (стадия 6), и экстрагируют из маточного раствора (стадия 10), при этом могут быть использованы способы извлечения редкоземельных элементов из алюминийсодержащих материалов, описанные в настоящем изобретении. Например, таким образом можно экстрагировать редкоземельные элементы в различных формах. Например, они могут быть в форме оксидов. РЗО. Способы согласно настоящему
35 изобретению для извлечения редкоземельных элементов позволяют, например, концентрировать до высокой концентрации следующие редкоземельные элементы в петле рециркуляции гидролизатора: скандий (Sc), галлий (Ga), иттрий (Y), диспрозий (Dy), церий (Ce), празеодим (Pr), неодим (Nd), европий (Eu), самарий (Sm), гадолиний (Gd), лантан (La), эрбий (Er). Конечно, какой из по меньшей мере одного
40 редкоземельного элемента будет извлечен зависит от природы исходного материала (алюминийсодержащего материала).

[00268] Отработанный кислотный раствор со стадий 6 и 10, обогащенный ценными металлами, в основном магнием, обрабатывают на стадии 7. Указанный раствор насыщают сухим и высококонцентрированным газообразным хлороводородом со
45 стадии 5, что приводит к осаждению гексагидрата хлорида магния. Оставшийся осадок подают на стадию обжига, стадия 8, где получают чистый MgO (>98% масс.) и высококонцентрированную соляную кислоту (например, по меньшей мере 38%) регенерируют и направляют на стадию выщелачивания (стадия 2). Альтернативным

путем для стадии 7 является использование сухой газообразной хлороводородной кислоты со стадии 8.

[00269] На стадии 9 непрореагировавшие хлориды металлов обрабатывают на стадии пиролиз (700-900°C) с получением смешанных оксидов, где может быть извлечена соляная кислота в концентрации 15-20,2% масс.

[00270] Согласно другому примеру, показанному на Фиг. 2, способы могут быть аналогичны примеру, показанному на Фиг. 1, но включать некоторые, как описано ниже.

[00271] Фактически, как показано на Фиг. 2, способ может включать (после стадии 6 или непосредственно перед стадией 10) внутреннюю обратную рециркуляцию на стадию кристаллизации 4. В таком случае, маточный раствор из гидролизатора (стадия 6) можно полностью или частично рециркулировать на стадию кристаллизации 4, где будет происходить увеличение концентрации негидролизующихся элементов, включая редкоземельные элементы.

[00272] Такая стадия может быть полезна для значительного увеличения концентрации редкоземельных элементов, таким образом облегчая их экстракцию на стадии 10.

[00273] Относительно стадии 7, повышают концентрацию раствора, обогащенного хлоридом магния и другими негидролизующимися продуктами при низкой температуре, как обсуждалось ранее, с помощью сухого и высококонцентрированного газообразного хлороводорода путем его барботирования в кристаллизатор. Это может привести к осаждению хлорида магния в виде гексагидрата (например, после удаления хлорида натрия и калия).

[00274] Как показано на Фиг. 2 можно добавить дополнительную стадию 11. Хлорид натрия можно подвергать химическому взаимодействию с серной кислотой с получением сульфата натрия и регенерированием соляной кислоты в азеотропной точке. Хлорид калия можно подвергать химическому взаимодействию с серной кислотой с получением сульфата калия и регенерированием соляной кислоты в азеотропной точке.

[00275] Способ, показанный на Фиг. 2А аналогичен способу, показанному на Фиг. 2, за исключением того факта, что он включает дополнительную стадию между стадией 12 и стадией 2 для использования полученной очищенной кислоты.

[00276] Способ, показанный на Фиг. 2В аналогичен способу, показанному на Фиг. 2, за исключением того факта, что он включает дополнительную стадию очистки SiO_2 путем отделения TiO_2 от него и дополнительную стадию 5а, на которой можно проводить низкотемпературное разложение хлорида оксида алюминия.

[00277] Между стадиями 6 и 10 и/или стадиями 7 и 10 на Фиг. 1 и 2 возможна дополнительная очистка указанной композиции, содержащей редкоземельные элементы и/или редкие металлы. Фактически, такие композиции можно обрабатывать с помощью ионообменной колонки с удалением примесей, которые не представляют собой редкоземельные элементы и редкие металлы. Например, такие композиции, которые содержат хлориды редкоземельных элементов и/или редких металлов, будут обработаны с удалением примесей, таких как железо, алюминий или другие металлы. Затем, после завершения обработки с помощью таких колонок, редкоземельные элементы и/или редкие металлы можно экстрагировать, как указано в способах согласно настоящему изобретению.

[00278] Некоторые примеры приведены в настоящем изобретении для по существу селективного извлечения, осаждения, экстрагирования и/или выделения по меньшей мере одного редкоземельного элемента. Их можно осуществлять, например из продукта выщелачивания и/или осадка, и любых других дальнейших производных, растворов,

осадков, композиций или растворов после выщелачивания.

[00279] Например, извлечение, осаждение, экстрагирование и/или выделение по меньшей мере одного редкоземельного элемента можно проводить путем:

- осаждения по меньшей мере редкоземельного элемента (например, при pH от примерно 6 до примерно 8, от 7 до примерно 8 или от 7 до примерно 7,5);
- использования ионообменной смолы (например, как описано в US 4816233 (который включен в настоящую заявку посредством ссылки во всей полноте);
- экстракции с помощью растворителя(ей) (например, жидкость-жидкостную экстракцию можно проводить с использованием ди-(2-этилгексил)ортофосфорной кислоты (HDEHP (также называемой ДЕНРА или D2ЕНРА)), моно(2-этилгексил)2-этилгексилфосфоната (НЕН/ЕНР), октилфенилфосфата (ОРАР), моно-2-этилгексилового эфира 2-этилгексилфосфоновой кислоты (PC88A) и необязательно толуола (например, как описано в Kao et al. в Chemical Engineering Journal, Vol. 119, Issues 2-3, June 15, 2006, pages 167-174 (который включен в настоящую заявку посредством ссылки во всей полноте) или путем экстракции с использованием алкилфосфата (например, как описано в US 3013859 (который включен в настоящую заявку посредством ссылки во всей полноте);
- использования экстрагирующего агента (например, использования бис(2,4,4-триметилпентил)монотиофосфиновой кислоты или ее производного);
- адсорбции на активированном угле (адсорбция на активированном угле), необязательно модифицированном трибутилфосфатом, или на пенополиуретане на основе простых полиэфиров (PUF); (например, как описано в Zhou et al. RARE METALS, Vol. 27, No. 3, 2008, p 223-227 (который включен в настоящую заявку посредством ссылки во всей полноте)
- экстракции с помощью мембраны из полых волокон; и
- использования методики электроэкстракции (например, как описано в US 2004/0042945 (который включен в настоящую заявку посредством ссылки во всей полноте).

[00280] Например, скандий может быть осажден (необязательно с использованием HNO_3) из остаточного раствора, полученного в ходе способа (например, когда осаждают железо и/или осаждают алюминий).

[00281] Например, для по существу селективного осаждения, экстрагирования и/или выделения по меньшей мере одного редкоземельного элемента из продукта выщелачивания и/или осадка и любых других последующих производных, можно применять различные последовательности, т.е. в зависимости от природы исходного материала и присутствующих редкоземельных элементов, определенный редкоземельный элемент можно более легко экстрагировать до или после другого определенного редкоземельного элемента.

[00282] Например, как показано на Фиг. 3, в случае смеси или раствора, содержащего HCl, воду и редкие элементы в форме хлоридов, указанную смесь можно обрабатывать экстрагирующим агентом с целью экстракции из нее GaCl_3 с получением раствора, не содержащего Ga. Такой экстрагирующий агент может представлять собой, например, октилфенилфосфат (ОРАР) или моно-2-этилгексиловый эфир 2-этилгексилфосфоновой кислоты (PC88A) и толуол. Затем GaCl_3 можно осаждать и затем превращать в Ga_2O_3 путем нагревания с необязательным извлечением HCl.

[00283] Затем раствор, не содержащий Ga, можно обрабатывать экстрагирующим агентом (например, SME 529TM, трибутилфосфатом или ди-изоамилметилфосфонатом, ди-(2-этилгексил)ортофосфорной кислотой, 7-(4-этил-1-метилоктил)-8-

гидроксифинолином (Kelex 100™) в н-гептане с добавлением 10% н-деканола) для по
существу селективной экстракции из него хлорида церий с получением раствора, не
содержащего Се. В конечном счете CeCl_3 можно превращать в Ce_2O_3 с необязательным
извлечением HCl .

[00284] Затем раствор, не содержащий Се, можно обрабатывать экстрагирующим
агентом, таким как ди-(2-этилгексил)ортофосфорная кислота или ди-(2-этилгексил)
фосфиновая кислота, с по существу селективной экстракцией Sc и получением раствора,
не содержащего Sc. Экстрагированный Sc можно обрабатывать окислителем (таким
как NaOH) с получением Sc_2O_3 .

[00285] Затем различные остаточные редкоземельные элементы (Pr, Nd, Sm, Eu, La,
Gd, Y, Dy, Er и т.д.) в растворе, не содержащем, Sc можно экстрагировать в различном
возможном порядке.

[00286] Например, отмечалось, что способ, схематически проиллюстрированный на
Фиг. 3, можно использовать как часть различных других способов, таких как способ,
схематически проиллюстрированный на Фиг. 1 или на Фиг. 2. Например, стадия 10,
приведенная на Фиг. 1 и 2, может представлять собой способ, схематически
проиллюстрированный на Фиг. 3.

[00287] Способ, показанный на Фиг. 3А, аналогичен способу, показанному на Фиг.
3, за исключением того, что он включает дополнительную стадию очистки путем
использования ионообменной колонки.

[00288] Например, как показано на Фиг. 4А и 4В, способ экстрагирования
редкоземельных элементов может включать:

восстановление железа (III) до железа (II) с использованием железа;

отделение галлия от раствора хлорида железа (II);

осаждение и предварительную концентрацию редкоземельных элементов из
указанного рафината;

повторное выщелачивание и фракционирование редкоземельных элементов в легкие
(LRE) и тяжелые (HRE) группы;

отделение иттрия от скандия и тяжелых редкоземельных элементов;

разделение скандия и тяжелых редкоземельных элементов; и выщелачивание с
низкоконцентрированной кислотой при атмосферном давлении

[00289] Способы, показанные на Фиг. 4С и 4D, аналогичны способам, показанным
на Фиг. 4А и 4В, за исключением того, что они могут включать дополнительную стадию
очистки путем использования ионообменной колонки, необязательную стадию очистки
плазмой, дополнительную стадию регенерации кислоты и дополнительную стадию
обжига.

[00290] Восстановление железа (III) до железа (II) восстанавливающим агентом (таким
как металлическое железо, крахмал) можно использовать для предотвращения со-
экстракции железа или осаждения железа. Время реакции может быть очень коротким
и она может выделять тепло. Общая химическая реакция восстановления железа (III)
показана ниже.



[00291] Исходный раствор выдерживают в восстановительных условиях до тех пор,
пока из указанного жидкого раствора исчезнет железо (III). Как показано Фиг. 4а и 4б
исходный раствор хлорида железа (III) 101 можно подавать в перемешиваемую
реакционную емкость и восстанавливающий агент (например, металлическое железо
102) можно добавлять с обеспечением превращения хлорида железа (III) в хлорид железа

(II) (см. «удаление железа (III)»). После разделения твердое вещество-жидкость (разделение тв/ж) полученный фильтрат 103 можно дополнительно обработать в контуре экстракции галлия. Фильтрационный осадок, содержащий твердый материал и железо, можно обезвоживать и затем полученную суспензию можно подготовить для выгрузки.

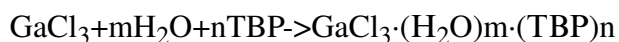
[00292] Затем галлий можно экстрагировать органическим раствором, содержащим экстрагирующий агент (например, трибутилфосфат (ТВР), растворенный в керосине) (см. «извлечение галлия»). Таким образом, редкоземельные элементы и железо можно оставить в рафинате. Экстракцию можно изменять в зависимости от концентрации хлорида иона. Например, при более высокой концентрации хлорида иона наблюдается

более выраженная тенденция комплексообразования галлия и улучшенная экстракция. [00293] Например, в случае извлечения галлия из растворов соляной кислоты, можно использовать реагенты, такие как трибутилфосфат или третичные амины (например, Alamine 336). Например, при повышении концентрации соляной кислоты (HCl) экстракция галлия может повыситься до максимального значения и затем снова понизиться. Например, концентрацию HCl может повышать до примерно 4 М HCl для экстракции галлия. В указанных условиях галлий может быть в форме комплекса HGaCl_4 и галлия, экстрагированного ТВР в виде трисольвата ($\text{HGaCl}_4 \cdot 3\text{TBP}$) (например, в случае, если экстрагирующий агента представляет собой ТВР).

[00294] Повышение экстракции с увеличением кислотности происходит вследствие дополнительного образования HGaCl_4 . Химическая реакция показана ниже.



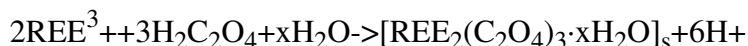
[00295] В случае низкокислых или нейтральных растворов экстрагированные вещества представляют собой GaCl_3 в форме гидратированного сольвата.



[00296] Соэкстрагированное железо, накопленное в органической фазе, можно очистить с помощью соляной кислоты (см. «раствор после реэкстракции галлия»). Полученный органический раствор, содержащий галлий, можно подавать в контур реэкстракции, где галлий реэкстрагируют с водой 104. Рафинат 106, содержащий хлорида железа (II) и редкоземельные элементы, можно затем подавать в секцию осаждения редкоземельных элементов. Конечный раствор после реэкстракции 105 содержит галлий.

[00297] Например, оксалатное осаждение редкоземельных элементов приводит к очень низкой растворимости соединений в водном растворе. Осаждение редкоземельных оксалатов можно осуществить путем добавления осаждающего реагента 107. Например, для осаждения можно использовать щавелевую кислоту 107. Например, можно использовать осаждающий агент, эффективный для осаждения трехвалентных редкоземельных элементов (такой как оксалат (из щавелевой кислоты)). Например, такие осаждающие агенты могут обеспечивать очень низкую растворимость в водном растворе с образованием осадка.

[00298] Реакция осаждения трехвалентных редкоземельных элементов в водном растворе проходит согласно следующему уравнению:



[00299] Избыток основного осаждения редкоземельных элементов 109 можно направить в контур обработки железа (II). После фильтрования фильтрационный осадок, содержащий редкоземельные элементы, можно направить устройства для промывки или обезвоживания. Затем полученную суспензию 108 можно подготавливать для повторного выщелачивания (см. «повторное выщелачивание REE»). Повторное

выщелачивание редкоземельного фильтрационного осадка можно проводить с использованием соляной кислоты 110.

[00300] Из предварительно концентрированного и раствора хлорида 111 с доведенным рН, который содержит, например, примерно 150 до примерно 250 г/л редкоземельных элементов, иттрий, скандий и тяжелые редкоземельные элементы (HRE) (см. «первичное извлечение REE») экстрагируют экстрагирующим агентом (например, (ди-(2-этилгексил) ортофосфорной кислотой (D2EHPA) или моно-2-этилгексиловым эфиром 2-этилгексилфосфоновой кислоты (PC88A (также называемым Ionquest™ 801) в керосине). Скандий, другие HRE, а также иттрий можно экстрагировать, и оставить легкие редкоземельные элементы (LRE) в рафинате 113.

[00301] Затем насыщенную органическую фазу можно селективно очистить соляной кислотой (2 М HCl) с удалением соэкстрагированных LRE. На вторичной секции очистки можно удалить европий путем использования слабой соляной кислоты (от 1 до 1.5 М HCl). Экстракт, содержащий иттрий, скандий и HRE, можно затем реэкстрагировать сильной кислотой (3,5 М HCl) 112.

[00302] Раствор после реэкстракции HRE 114, содержащий иттрий и скандий, можно дополнительно обрабатывать с получением более 90% Y_2O_3 и Sc_2O_3 в первом контуре процесса экстракционной очистки парными растворителями. На первой стадии водный раствор, содержащий примерно 25 г/л (редкоземельных элементов в форме оксидов) и 0,4 М HCl, можно привести в контакт с экстрагирующим агентом (например, (ди-(2-этилгексил) ортофосфорной кислотой (D2EHPA) или моно-2-этилгексиловым эфиром 2-этилгексилфосфоновой кислоты (PC88A (также называемым Ionquest™ 801) в керосине) (см. «вторичное извлечение REE»). Затем насыщенную органическую фазу очищают разбавленной соляной кислотой. Скандий, иттрий и HRE можно экстрагировать с помощью указанного реагента и, наконец, реэкстрагировать сильной соляной кислотой 115 с высоким соотношением оксид/кислота. Конечный раствор после реэкстракции будет иметь концентрацию оксидов редкоземельных элементов примерно 40 г/л и примерно 1 М HCl. Указный раствор частично нейтрализован.

[00303] Указанный предварительно обработанный раствор после реэкстракции 116 можно дополнительно экстрагировать экстрагирующим агентом (например, трибутилфосфатом (TBP) в керосине). Обработку можно осуществлять в ходе многоступенчатой процедуры, и окончить в конце заключительной реэкстракцией насыщенной органической фазы водой 117. Таким образом, можно экстрагировать все HRE и скандий, оставляя иттрий в рафинате 119. Конечный раствор после реэкстракции 118, содержащий HRE, образует источник для дополнительного разделения скандия и тяжелых редкоземельных элементов. Для осуществления указанных действий можно использовать различные возможные экстрагирующие агенты, такие как ди-(2-этилгексил) ортофосфорная кислота.

[00304] Иттрий можно также удалять из раствора после реэкстракции, полученного на первичной стадии экстракции. Например, разделение можно проводить при рН 3 после добавления тиоцианата аммония в качестве комплексообразующего реагента. Указанная процедура может привести к образованию рафината, обогащенного иттрием, при экстрагировании тяжелых редкоземельных элементов трибутилфосфатом, Alamine 336 или Aliquat 336.

[00305] Отделение скандия от других HRE, (например, диспрозия и эрбия) можно проводить с использованием дополнительного контура экстракционной очистки, аналогичного способу отделения и очистки иттрия, как было описано ранее. Таким образом, указанный экстрагирующий агент может быть таким же или отличным

(например, (ди-(2-этилгексил)ортофосфорной кислотой (D2ЕНРА); моно-2-этилгексильным эфиром 2-этилгексилфосфоновой кислоты (РС88А (также называемым lonquest™ 801 в керосине) или бис-(2,4,4-триметилпентил)фосфоновой кислотой (lonquest™ 290), раствор для реэкстракции 120 может быть таким же, как 117, тем самым обеспечивая рафинат скандия 121 и раствор после реэкстракции 122, содержащий европий и эрбий.

[00306] Альтернативно, иттрий можно экстрагировать, как описано в US 3751553 (который включен в настоящую заявку посредством ссылки во всей полноте).

Фактически, иттрий можно экстрагировать, начиная с концентрата ксенотима. Это можно осуществлять путем использования контуров экстракции с тремя растворителями. На первой стадии можно использовать ДЕНРА для отделения иттрия. На второй стадии можно использовать нитрат три(каприлметил)аммония (Aliquat 336) для экстрагирования и отделения церия, и оставить иттрий в рафинате. На третьей стадии можно экстрагировать Tm, Yb, и Lu с помощью тиоцианата три(каприлметил)аммония. В данной экстракционной петле иттрий ведет себя, как элемент церий. На этой стадии можно получить, оксид иттрия с высокой степенью чистоты.

[00307] Согласно другой альтернативе оксид иттрия можно экстрагировать на двух стадиях, т.е. нитрат три(каприлметил)аммония можно использовать для разделения смеси La-Er/Y-Lu и затем очистку иттрия проводят с использованием кислоты "версатик".

[00308] Экстракция растворителем является селективной процедурой разделения для выделения и концентрирования ценных элементов из водного раствора с помощью органического раствора. Согласно данной процедуре, водный раствор, содержащий интересующий элемент, часто при низкой концентрации, и совместно с другими растворенными веществами (загрязняющими веществами), смешивают (экстракция) с органическим растворителем, содержащим реагент. Интересующий элемент взаимодействует с указанным реагентом с образованием химического соединения, которое более растворимо в органическом растворе, чем в водном растворе. Следовательно, интересующий элемент переносят в органический раствор.

[00309] Далее, с целью извлечь экстрагированное вещество, органический раствор смешивают (реэкстракция) с водным раствором, имеющим состав, при котором химическое соединение, образованное между элементом и реагентом, разделяется и, таким образом, элемент извлекают в «новом» водном растворе в чистой форме. Концентрацию элемента в «новом» водном растворе можно повышать, часто в 10-100 раз, по сравнению с исходным водным раствором посредством регулирования расхода жидкости. Обогащенный экстрагированным элементом органический раствор возвращают для дополнительной экстракции, либо непосредственно, либо после очистки его фракции от примесей.

[00310] Важными факторами, которые влияют на указанный способ экстракции растворителем могут быть, например, количество стадий экстракции, очистки и реэкстракции, концентрация органического растворителя и разбавитель.

[00311] В типичном способе экстракции растворителем, водная фаза, содержащая редкоземельные элементы, может представлять собой, например, хлористый или азотокислый раствор. Органическая фаза содержит экстрагирующий агент, такой, как указанные в настоящем изобретении, или альтернативные в органическом растворителе, таком как алифатический разбавитель.

[00312] Методику экстракции растворителем можно использовать в качестве процедуры для разделения и очистки редкоземельных элементов. Некоторые из следующих свойств являются особенно важными при выборе экстрагирующего агента

или химического экстрагента:

Высокая селективность относительно других нежелательных металлов и кислот в ходе процесса экстракции,

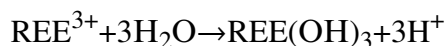
Высокая способность переноса в экстрагент,

Хорошая химическая стабильность,

Быстрая кинетика.

[00313] Например, осаждение означает удаление редкоземельных элементов из раствора путем добавления химического реагента с образованием нового, менее растворимого (твердого) соединения. Например, полное осаждение можно проводить с помощью оксалата, гидроксида или других соединений.

[00314] Можно также использовать осаждение гидроксидом и двойным сульфатом. Для масштабного производства можно использовать аммоний для проведения осаждения гидроксидом из нитратных или хлоридных растворов. Двойные сульфаты $RE_2(SO_4)_3 \cdot Na_2SO_4 \cdot nH_2O$ можно осадить путем либо добавления сульфата натрия к раствору, содержащему редкоземельные элементы. Реакция осаждения трехвалентных редкоземельных элементов в водных растворах протекает согласно следующему уравнению:

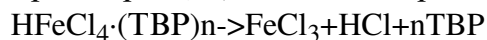


[00315] Например, экстракцию растворителем железа(III) из хлоридного раствора можно осуществить с помощью трибутилфосфата (ТБФ) в керосине, поскольку железо присутствует в указанной жидкой среде в форме хлоридного комплекса ($FeCl_4^-$):



[00316] Экстракция может сильно зависеть от концентрации иона хлорида. Фактически, более высокая концентрация иона хлорида приводит к увеличению склонности железа(III) образовывать комплексы и улучшению экстракции. Железо(II) также образует аналогичные хлоридные комплексы ($FeCl_4^{2-}$), однако органический комплекс $FeCl_4^{2-}$ менее склонен к экстракции в существующих условиях.

[00317] Для повторной экстракции (реэкстракции) железа из органического растворителя указанный органический растворитель можно промывать чистой водой (например, водой наночистоты). Затем железо(III) можно переносить в воду (раствор для реэкстракции) согласно выражению:



[00318] Железо можно реэкстрагировать в виде хлорида железа. Эквивалентное количество соляной кислоты можно также удалить. Концентрация хлорида возрастает и реэкстракция железа останавливается. Таким образом, концентрация железа в растворе для реэкстракции ограничена одновременным переносом ионов хлорида.

[00319] Примеры, приведенные ниже, являются неограничивающими и используются для лучшего пояснения способов согласно настоящему изобретению.

Пример 1

Получение образца алюминийсодержащего материала

[00320] Алюминийсодержащий материал (например, аргиллит) можно мелко раздробить с целью облегчить проведение последующих стадий. Например, микронизация может сократить время реакции на несколько часов (примерно от 2 до 3 часов). С целью удаления большего количества железа стадию выщелачивания при комнатной температуре необязательно проводят между стадией дробления и стадией

обжига. Указанную операцию, например, проводят с соляной кислотой HCl (32 масс.%) и используют соотношение аргиллит/кислота (масса/объем) 1:5. Затем в зависимости от условий проведения эксперимента (размеров частиц, времени обработки, системы перемешивания) можно растворить от примерно 65% до примерно 93% железа. Однако

5 указанная стадия выщелачивания может также принести некоторое количество алюминия (0-5%). Последняя стадия получения аргиллита включает обжиг предварительно обработанного аргиллита. Ее можно осуществить при температуре обжига более 550°C в течение периода времени примерно от 1 до 2 часов. Например, тепловая обработка позволяет увеличить количество экстрагированного алюминия на

10 от примерно 30% до примерно 40% за тот же период времени. Другими словами, количество экстрагированного алюминия удваивается. При проведении выщелачивания при комнатной температуре, фазовое разделение можно осуществить перед обжигом с целью извлечения кислоты и уменьшения тепловых потерь.

Кислотное выщелачивание

15 [00321] Кислотное выщелачивание может включать взаимодействие раздробленного и обожженного аргиллита с по меньшей мере одним раствором кислоты (например, HCl) при повышенной температуре в течение заданного периода времени. Например, соотношение аргиллит/кислота может составлять примерно 1:10 (масса/объем), концентрация HCl может составлять примерно 6 М или примерно от 18 до 20 масс.%,

20 температура может составлять от примерно 100°C до примерно 110°C, и время реакции может составлять от примерно 30 минут до примерно 7 часов. В таких условиях помимо примесей железа можно экстрагировать более примерно 90% алюминия и примерно 100%. Альтернативно, выщелачивание можно проводить при температуре от примерно 150°C до примерно 175°C при давлении от примерно 350 КПа изб. до примерно 500

25 КПа изб. в течение от примерно 4 до примерно 7 часов.

[00322] В ходе второй половины такой обработки (например, последние 2 или 3 часа) часть избытка кислоты может быть извлечена путем мгновенного испарения и конденсации. После окончания экстракции твердое вещество (аргиллит, обедненный металлами) можно отделить от жидкости путем декантации или путем фильтрования,

30 после чего его промывают. Остаточный продукт выщелачивания и промывочную воду можно полностью выпарить. После чего соответствующий остаток можно много раз промыть противотоком воды с уменьшением кислотности и уменьшением количества использованного основания (например, NaOH, KOH, Ca(OH)₂, Mg(OH)₂ и т.д.), которые

35 требуются для регулирования pH в ходе удаления железа. Извлеченную кислоту можно повторно использовать после доведения ее титра либо путем добавления газообразного HCl, либо путем добавления концентрированной HCl (12 М). После реакции титр кислоты можно изменять от примерно 4 М до примерно 6 М в зависимости от условий проведения эксперимента. Относительно твердого вещества, оно составляет от примерно 65% до

40 примерно 75% от исходной массы аргиллита, его можно обогатить и снова использовать либо в качестве ионообменной смолы, либо в качестве адсорбента.

[00323] Альтернативно, HCl выщелачивание можно проводить под давлением (с повышением температуры) в автоклаве.

[00324] Извлечение редкоземельного элемента(тов) можно проводить, например, на данной стадии после проведения упомянутого кислотного выщелачивания.

45 [00325] Например, выщелачивание при соотношении 3,1/1,0 с 23 масс.% HCl при 180°C приводило к получению степени экстракции 96% в пересчете на хлориды металлов.

Удаление железа

[00326] В настоящем изобретении предложены несколько альтернативных вариантов

проведения удаления железа. Например, удаление железа можно проводить путем по существу селективного осаждения ионов железа при некоторых значениях pH.

Альтернативно, можно использовать некоторые экстрагирующие агенты, как описано в WO 2008141423. В комбинации с такими экстрагирующими агентами можно также

5 использовать мембрану.

[00327] Например, удаление железа можно проводить путем ионного осаждения последнего в основной среде, например, при pH по меньшей мере 10 или при pH от примерно 11,5 до примерно 12,5. pH может также составлять от примерно 3 до примерно 6 или от примерно 3 до примерно 5, или от примерно 3 до примерно 4. Данную стадию
10 можно проводить путем добавления раствора NaOH, например, при концентрации ЮМ. Можно также использовать другие основания, такие как KOH. Затем, все, что требуется, это отделение части твердого вещества от части жидкости путем фильтрования, декантации или центрифугирования, и промывание твердого вещества с помощью разбавленного основания, такого как раствор NaOH (например, NaOH в концентрации
15 от 0,01 М до 0,02 М). Затем твердое вещество промывают водой в противоточном режиме. Часть жидкости содержит алюминий и щелочноземельные элементы. По существу полное удаление железа и почти всех примесей (других металлов) можно таким образом достичь в виде нерастворимых и промытых гидроксидов. Необязательно, существует возможность извлечения железа путем использования стадии рафинирования
20 путем жидкость-жидкостной экстракции через мембраны из полых волокон.

[00328] Альтернативно, удаление железа можно проводить путем использования экстрагирующего агента и мембраны из полых волокон. Различные экстрагирующие агенты, которые могут по существу селективно образовывать комплексы с ионами железа по сравнению с ионами алюминия (или ионами алюминия по сравнению с ионами
25 железа) можно использовать на таких стадиях в зависимости от соотношения Al/Fe. Например, экстракцию можно проводить путем использования HDEHP (или DEDPA) ди(2-этилгексил)ортофосфорной кислоты) в качестве экстрагирующего агента, подходящего для образования комплексов с ионами железа. В органическом растворителе, таком как гептан или любом другом углеводородном растворителе,
30 можно использовать HDEHP в концентрации примерно 1 М. Для такой экстракции может потребоваться относительно короткое время контакта (несколько минут). Например, можно использовать pH порядка 2 и соотношение водная фаза/органическая фаза может составлять примерно 1:1. Было обнаружено, что в таких условиях возможна экстракция от 86% до 98% железа. Следует понимать, что в данном случае железо
35 захватывается органической фазой. Затем для извлечения железа в водную фазу можно использовать обратную экстракцию соляной кислотой (2 М или 6 М) и соотношение органическая фаза/кислая фаза примерно 1:0,5. В таком случае, полученная водная фаза обогащена ионами Fe^{3+} .

[00329] Извлечение редкоземельного элемента(ов) можно проводить, например, на
40 данной стадии после проведения упомянутого извлечения железа.

[00330] При экстракции растворителем с использованием методик противотока, проводят реэкстракцию соляной кислотой и затем приведение в контакт с раствором MgO, далее осаждение редкоземельных элементов в форме гидроксидов и затем превращение продуктов в их соответствующие оксиды в устройстве для обжига.

45 Извлечение алюминия

[00331] Указанную стадию можно также проводить различными способами. Например, ионы алюминия можно осаждать в $Al(OH)_3$ (например, в гидратированной

форме $\text{Al}(\text{OH})_3$ при pH от примерно 7 до примерно 9 или от примерно 7,5 до примерно 8,5 или примерно 8. Альтернативно, ионы алюминия можно подвергать взаимодействию с экстрагирующим агентом, как описано в WO 2008141423.

[00332] Раствор, полученный на предыдущей стадии с использованием либо методики осаждения, либо экстракции является относительно чистым и в основном содержит алюминий, например, от примерно 90% до примерно 95% или до от примерно 90% до примерно 99,8% (без щелочноземельных элементов в случае осаждения). Извлечение последнего можно проводить путем жидкость-жидкостной экстракции, например, путем использования такой же мембраны из полых волокон и экстрагирующего агента, предназначенного для по существу селективного образования комплекса с алюминием по сравнению с другими металлами или остатками. Например, в качестве экстрагирующего агента, специфичного к алюминию, можно использовать бис(2,4,4-триметилпентил)фосфиновую кислоту (такую как продаваемую под торговым наименованием Суапex™ 272). Например, указанный экстрагирующий агент можно использовать в концентрации примерно 20% об./об. в органическом растворителе, таком как гептан. Соотношения между водной фазой и органической фазой могут составлять от примерно 1:1 до примерно 1:3. Например, температуры экстракции могут составлять примерно 40°C и pH можно поддерживать при от примерно 2,5 до примерно 3,5. Было обнаружено, что такая методика позволяет экстрагировать более 70-90% алюминия. После захвата алюминия в органической фазе его можно извлекать в форме концентрата ионов Al^{3+} путем использования обратной экстракции. Например, обратную экстракцию можно проводить при температуре примерно 40°C с соляной кислотой (например, в концентрации 6 М). В таких условиях можно извлечь более 90% алюминия.

[00333] Извлечение редкоземельного элемента(ов) можно проводить, например, на данной стадии после проведения упомянутого извлечения алюминия.

[00334] Затем Al^{3+} можно превращать в гидроксид алюминия (например, в виде гидратированной формы $\text{Al}(\text{OH})_3$, путем добавления основания, такого как NaOH. Наконец, $\text{Al}(\text{OH})_3$ можно превращать в оксид алюминия (оксид алюминия Al_2O_3) путем обжига $\text{Al}(\text{OH})_3$, например, при температуре от примерно от 800°C до 1200°C.

[00335] Al^{3+} можно также превращать в $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и после обжига HCl может быть извлечена и Al_2O_3 может быть получен.

[00336] Дополнительную очистку можно проводить путем перекристаллизации. Извлечение редкоземельных элементов

[00337] Затем можно осуществить извлечение редкоземельных элементов, например, на данной стадии путем использования любой методики, ранее упомянутой в настоящем описании. Например, его можно осуществить путем использования методики, описанной на любой из Фиг. 3, 3A 4A, 4B, 4C, 4D, 5A, 5B, 5C, 5D, 5E, 5F, 5G, 5H и 26.

[00338] Способы, показанные на Фиг. 5E, 5F, 5G и 5H, аналогичны способам, показанным на Фиг. 5A, 5B, 5C и 5D, за исключением того, что они могут включать дополнительную стадию очистки путем использования ионообменной колонки, необязательную стадию очистки плазмой, дополнительную стадию регенерацию кислоты, и дополнительную стадию обжига.

[00339] Например, по меньшей мере один редкоземельный элемент, содержащийся в остаточных растворах, может быть получен с помощью упомянутых выше способов. Например, по меньшей мере один редкоземельный элемент может быть в низкой концентрации, например, в концентрации менее примерно 50, примерно 25, 15, 10, 5, 4,

3, 2 или 1 ppm в выщелачивателе или продукте выщелачивания, или растворе, полученном в ходе способа. Редкоземельные элементы можно концентрировать на более поздней стадии способа до экстракции с растворителем(ями). Было показано, что концентрацию можно значительно повысить (например, от 100 до 1000 раз) посредством внутренней петли концентрирования, тем самым обеспечивая более эффективные условия для по существу селективного осаждения, экстрагирования и/или выделения по меньшей мере одного редкоземельного элемента.

Пример 2

[00340] Исходный материал образца глины (аргиллита) получали из области Grande Vallee в Квебеке, Канада.

[00341] Указанные результаты представляют среднее из 80 исследований, проведенных с образцами, массой примерно 900 кг каждый. Указанные исследования проводили путем использования способа, показанного на Фиг. 1 и на Фиг. 2.

[00342] Неочищенная глина в свежедобытом состоянии после дробления и определения имела следующий состав:

Al_2O_3 : 15% - 26%;

SiO_2 : 45% - 50%;

Fe_2O_3 : 8% - 9%;

MgO : 1% - 2%;

Редкоземельные элементы: 0,04% - 0,07%;

LOI: 5% - 10%.

[00343] Затем указанный материал выщелачивали посредством двухстадийной процедуры при 140-170°C с 18-32 масс.% HCl. Раствор HCl использовали в стехиометрическом избытке 10-20% в пересчете на стехиометрическое количество, необходимое для удаления выщелачиваемых кислотой составляющих глины. На первой стадии выщелачивания полунепрерывной операции (стадия 2) глину приводили в контакт в течение 2,5 часов с требуемым количеством или определенной долей от общего количества соляной кислоты. После удаления отработанной кислоты глину снова приводили в контакт с минимум 18 масс.% раствором соляной кислоты в течение примерно 1,5 часов при той же температуре и давлении.

[00344] Продукт выщелачивания фильтровали и твердое вещество промывали водой и анализировали с использованием традиционных методик анализа (см. стадию 3 на Фиг. 1). Чистота полученного оксида кремния составляла 95,4% и он не содержал каких-либо хлоридов и HCl.

[00345] В другом примере чистота полученного оксида кремния составляла 99,67% после дополнительной стадии выщелачивания.

[00346] После выщелачивания и удаления диоксида кремния концентрация различных хлоридов металлов составляла:

AlCl_3 : 15-20%;

FeCl_3 : 4-6%;

FeCl_2 : 0,5-2,0%;

MgCl_2 : 0,5-2,0%;

REE-Cl: 0,1-2%

Свободная HCl: 5-50 г/л

[00347] Затем отработанную кислоту кристаллизовали с использованием чистой сухой соляной кислоты с чистотой от примерно 90 до примерно 98% в газовой фазе за две стадии с получением менее 25 ppm железа в гексагидрате хлорида алюминия.

Концентрация HCl в растворе (водная фаза) составляла от примерно 22 до примерно 32%, что приводило к извлечению 95,3% Al_2O_3 . Затем извлеченный кристаллизованный материал (гидратная форма Aids с минимальной чистотой 99,8%) обжигали при 930°C или 1250°C, таким образом получая α форму оксида алюминия (1250°C). 8 форму

получали при 930°C.

[00348] Другой пример проводили при низкой температуре (разложение и обжиг при примерно 350°C) и количество α -формы оксида алюминия составляло менее 2%.

[00349] Концентрация HCl в газовой фазе, выходящей со стадии обжига, составляла от примерно 21 до примерно 32% по массе, и ее использовали (повторно использовали) для кристаллизации $AlCl_3$ и $MgCl_2$. Избыток соляной кислоты абсорбировали при требуемой и целевой концентрации для стадий выщелачивания.

[00350] Затем хлорид железа (от примерно 90% до примерно 95% в форме железа (III)) направляли в гидротермальный процесс с целью его экстракции в виде чистого гематита (Fe_2O_3). Это можно осуществить путем использования технологии низкотемпературного гидролиза, описанной в WO 2009/153321, с полной регенерацией тепла со стадий обжига, пирогидролиза и выщелачивания.

[00351] Перед стадией 10 (в обоих способах, показанных на Фиг. 1 и 2) было показано, что было извлечено от примерно 90 до примерно 98% по массе элементов (Al, Fe, Mg и редкоземельных элементов, таких как (Sc, Ga, Y, Ce), обнаруживаемых в исходном материале. Можно сделать вывод, что способы извлечения редкоземельных элементов из алюминийсодержащих материалов, описанные в настоящем изобретении, могут быть эффективны для извлечения примерно 90% редкоземельных элементов. Таким образом, относительно примеров способов, приведенных на Фиг. 1 и 2, можно сделать вывод, что суммарный выход извлечения по меньшей мере одного редкоземельного элемента из алюминийсодержащего материала будет составлять от примерно 80% до примерно 90%.

[00352] Редкоземельные элементы можно экстрагировать из маточного раствора гидролизатора (где удаляются диоксид кремния, алюминий, железо и большая часть воды) после предварительной концентрацией с последующей кристаллизацией в гидролизатор. В форме хлоридов редкоземельные элементы (RECl) являются достаточно концентрированными и готовы для экстрагирования. Редкоземельные элементы концентрировались с коэффициентом от 5 до 10 в среднем в самом гидролизаторе за одно прохождение через него (без использования какой-либо петли концентрирования). Коэффициенты концентрации, полученные для некоторых элементов в гидролизаторе (за одно прохождение), были следующими:

Ce: >6

La: >9

Nd: >7

Y: >9

[00353] Например, его можно проводить путем использования технологии, описанной на любой из Фиг. 3, 4A, 4B, 4C, 4D, 5A, 5B, 5C, 5D, 5E, 5F, 5G, 5H и 26.

[00354] Таким образом, специалисту в данной области техники будет понятно, что концентрацию можно значительно повысить при использовании петли концентрирования.

[00355] Оставшийся хлорид магния орошают сухой и высококонцентрированной соляной кислотой и затем обжигают до MgO при извлечении кислоты в азеотропной точке.

[00356] Затем смешанные оксиды, содержащие другие негидролизующие компоненты, подвергали реакции пиролизации при 700-800°C и извлеченную кислоту (15-20,2% масс.) повторно направляли, например, в систему выщелачивания.

Суммарные полученные выходы:

Al₂O₃: 93,0-95,03% извлечение;

Fe₂O₃: 92,65-99,5% извлечение;

Редкоземельные элементы: минимум 95% извлечение (смесь);

MgO: 92,64-98,00% извлечение;

Отброшенный материал: максимум 0-5%;

Общее извлечение HCl: минимум 99,75%;

Сила (концентрация) HCl при подаче на выщелачивание 15-32% (водная); 95% (газообразная)

Образование красного шлама: нет.

Пример 3

[00357] Аналогичный исходный материал (боксит вместо глины) обрабатывали согласно примеру 2 вплоть до стадии выщелачивания и обнаруживали, что он является легко выщелачиваемым в условиях, установленных в примере 2. Он обеспечивал процент экстракции 100% для железа и более 95% для алюминия. Было обнаружено, что способ является экономически целесообразным и не образуются нежелательные побочные продукты (красный шлам). Наблюдали извлечение редкоземельных элементов (в виде смеси), составляющее от примерно 90 до примерно 95% или примерно 91% (по массе по сравнению с исходным материалом). Исследованные образцы имели концентрации Al₂O₃ (вплоть до 51%), Fe₂O₃ (вплоть до 27%) и MgO (вплоть до 1,5%). Наблюдали экстракцию галлий 97,0%. Экстракция скандия составляла 95%.

Пример 4

[00358] Некоторые исследования провели для подтверждения способов, описанных на Фиг. 4А, 4В, 5А, 5В, 5С и 5D.

[00359] В экспериментах были использованы хлорид галлия и гидраты хлоридов редкоземельных элементов, полученные от Alfa Aesar GmbH & Co KG, Карлсруэ, Германия. Указанные продукты были химически чистого качества (99,9%). Химические вещества растворяли в водопроводной воде с получением исходного раствора. Хлорид алюминия и хлорид железа имели техническую чистоту.

Исследования осаждения галлия и редкоземельных элементов

[00360] Различные исследования осаждения галлия и редкоземельных элементов проводили с использованием известняка, оксида магния и/или гидроксида натрия. В качестве осаждающего реагента использовали щавелевую кислоту. Регулирование pH в ходе оксалатного осаждения проводили с использованием аммиака (25%). В конце исследований осадок отделяли от водного раствора путем фильтрования. Равновесную растворимость редкоземельных гидроксидов и редкоземельных оксалатов в хлоридной среде измеряли при 25°C.

[00361] Гидроксидное осаждение галлия и скандия известняком проводили из раствора редкоземельных элементов, содержащего 15 г/л Al, 180 г/л Fe(II), 220 мг/л Ga, 1,4 г/л Ce, 170 мг/л Y и 70 мг/л Sc. Водный раствор нейтрализовали при повышенной температуре с осаждением и удалением галлия и редкоземельных элементов. На Фиг. 6 показан выход осаждения гидроксида галлия и скандия в зависимости от значения pH в водном растворе (35 г/л HCl, Eh +380 мВ).

[00362] Нанесенные на график кривые на Фиг. 6 демонстрируют зависимость выхода

осаждения галлия и редкоземельных элементов как функцию от pH. Повышение pH приводит к повышению выхода осаждения галлия и скандия и приводит к 98% галлия и скандия при pH примерно 2,0. На Фиг. 6 также показано, что происходит повышение со-осаждения алюминия при уровне pH более 2,0. В указанных условиях не происходит осаждения церия и иттрия. Следовательно, было показано, что если pH в ходе процесса осаждения поддерживают на уровне или ниже 2,0, галлий и скандий осаждаются с минимальным со-осаждением алюминия, железа(II) и редкоземельных элементов.

[00363] Для определения влияния концентрации железа (II) на осаждение галлия и скандия хлорид железа(II) в количестве порядка 100 г/л Fe добавляли к исходному раствору галлия и скандия. Были установлены следующие параметры исследования:

Температура: 25°C

Скорость мешалки: 400 об/мин

Время: 1 ч

Осаждающий реагент: известняк

Конечное pH: 5,3

[00364] На Фиг. 7 показано влияние железа(II) (водного раствора (270 мг/л Ga, 90 мг/л Sc и 35 г/л HCl, Eh +380 мВ) на осаждение галлия. На Фиг. 7 выше показано, что концентрация железа(II) существенно не влияет на осаждение галлия.

[00365] Кривые, нанесенные на график на Фиг. 8, показывают влияние загрязнения железом(II) на осаждение скандия как функции от pH (водный раствор (270 мг/л Ga, 90 мг/л Sc и 35 г/л HCl, Eh +380 мВ). Условия были такими же, как на Фиг. 7. pH реакции осаждения скандия повышался от примерно pH 2 до примерно pH 3,5, что может быть вследствие отсутствия железа в водном исходном растворе. Конечная концентрация скандия при pH примерно 4 достигала 18 мг/л Sc, что эквивалентно выходу осаждения 80%.

[00366] Осадки, обогащенные галлием и скандием, промывали водой и затем сушили при 105°C и анализировали для определения со-осажденных редкоземельных элементов. На Таблице 1 показано со-осаждение алюминия, железа(II), церия и иттрия и их концентрации в полученных осадках галлия и скандия, полученных в ходе лабораторного исследования выщелачивания.

Таблица 1. Со-осаждение железа(II), церия и иттрия из гидроксида галлия и скандия

Параметры выщелачивания	Единицы	Значение
Концентрация алюминия в осадке	г/кг	4-6
Концентрация железа(II) в осадке	г/кг	20-30
Потери церия	%	<0,5
Концентрация церия в осадке	г/кг	1-2
Потери иттрия	%	<0,5
Концентрация иттрия в осадке	г/кг	0,1-0,2

[00367] Результаты исследования удаления галлия и скандия приведены в таблице 2.

Таблица 2. Сводная таблица исследований удаления галлия и скандия

Параметр удаления галлия и скандия	Единицы	Значение
Температура	°C	От 25 до 35
Время	мин	От 15 до 30
Осаждающий реагент	-	известняк
Исходное значение pH	-	0
Исходное значение pH	-	2-3
Осажденный галлий	%	99,9
Осажденный скандий (содержащий Fe(II))	%	98
Осажденный скандий	%	80
Потери редкоземельных элементов в твердых веществах	%	<1
Конечное содержание Ga в фильтрате	мг/л	<1
Конечное содержание Sc в фильтрате	мг/л	<2
Конечное содержание Sc в фильтрате (содержащем Fe(II))	мг/л	<20

Гидроксидное осаждения редкоземельных элементов

[00368] Гидроксидное осаждение редкоземельных элементов с помощью оксида магния и гидроксида натрия проводили с раствором, содержащим 1,8 г/л Ce, 2,3 г/л Y, 1,8 г/л Er, 2 г/л Nd и 0,5 г/л Pr. Водный раствор нейтрализовали гидроксидом натрия при комнатной температуре и оксидом магния при 65°C с осаждением и удалением редкоземельных элементов. Для исследования влияния pH на осаждение редкоземельных гидроксидов были установлены следующие параметры:

Температура: 25°C и 65°C

Скорость мешалки: 400 об/мин

Время: 1 ч

Осаждающий реагент: оксид магния и гидроксид натрия

Конечное pH: 10

[00369] На Фиг. 9 показано, что осаждение редкоземельных гидроксидов начинается при pH 6 и достигает максимального значения при pH примерно 8,0. На Фиг. 9 показан водный раствор, в котором исходное значение pH составляло 1 и Eh составлял +340 мВ.

Оксалатное осаждение

[00370] Предварительно нейтрализованные водные растворы с исследований гидроксидного осаждения, содержащие 1,8 г/л Се, 2,3 г/л Y, 1,8 г/л Ег, 2 г/л Nd и 0,5 г/л Pr, нагревали до температуры от 50 до 60°C. Добавляли суспензию щавелевой кислоты. Затем значение рН регулировали путем добавления по каплям раствора аммиака к осадку и удаляли редкоземельные элементы. Для исследования влияния количества осаждающего реагента были установлены следующие параметры исследования:

Температура: 60°C

Скорость мешалки: 400 об/мин

Время: 1 ч

Осаждающий реагент: щавелевая кислота в виде дигидрата

Конечное рН: 1,2

[00371] На Фиг. 10 ниже показана растворимость редкоземельных оксалатов с увеличением концентрации щавелевой кислоты при постоянной кислотности (рН 1,2). Концентрация для осаждения варьировалась от 0,06 моль/л до 1 моль/л щавелевой кислоты (водного раствора (LRE и HRE, конечное рН 1,2, Eh +340 мВ).

[00372] Для заданной кислотности растворимость редкоземельных оксалатов уменьшалась с увеличением концентрации щавелевой кислоты и достигался выход осаждения более 99% от всех исследованных редкоземельных элементов, если концентрация добавленной щавелевой кислоты составляла 0,15 моль/л или более.

[00373] Для исследования влияния концентрации железа(II) на осаждение редкоземельных элементов были установлены следующие параметры исследования:

Температура: 60°C

Скорость мешалки: 400 об/мин

Время: 1 ч

Осаждающий реагент: щавелевая кислота

Концентрация железа(II): 100 г/л

Конечное рН: 1,2

[00374] Кривая, нанесенная на графика на Фиг. 11, показывает осаждение редкоземельных элементов и железа в зависимости от концентрации щавелевой кислоты при постоянной кислотности (рН 1,2). Фигура указывает, что осаждение редкоземельных элементов не происходит при высоком загрязнении железом(II).

Результаты исследования удаления редкоземельных элементов приведены в таблице 3.

Таблица 3. Сводная таблица исследований удаления редкоземельных элементов

Параметр удаления REE	Единицы	Значение
Температура	°C	60

Время	мин	60
Осаждающий реагент	-	известняк
Исходное значение pH	-	3
Исходное значение pH	-	8
Осажденный иттрий (в качестве HRE)	%	>99
Осажденный церий (в качестве LRE)	%	>99
Конечное содержание Y в фильтрате	мг/л	<5
Конечное содержание Ce в фильтрате	мг/л	<5

Исследования экстракции растворителем

[00375] Для моделирования операции противоточной экстракции растворителем проводили исследования равновесия металлов. Все эксперименты проводили при 25°C. Все исследования проводили на стендовом лабораторном оборудовании.

[00376] Органические растворы приводили в контакт в течение примерно от 10 до 15 минут в воронках для встряхивания или перемешиваемых стаканах при достаточно высокой скорости перемешивания при различных соотношениях органической и водной фаз (О/А).

[00377] Регулирование pH в ходе экстракции растворителем осуществляли с использованием раствора гидроксида натрия (10%). После фазы отделения полученные водные и органические фазы сохраняли и анализировали.

Результаты экстракции растворителем галлия и скандия

[00378] С учетом селективности в отношении галлия и скандия по сравнению с иттрием, другим трехвалентным редкоземельным элементом, и алюминием, был выбран реагент трибутилфосфат (ТВР). С другой стороны, железо(III) со-экстрагировалось с ТВР. Таким образом, до извлечения галлия и скандия железа(III) удаляли либо путем экстракции растворителем, либо предварительно обрабатывали металлическим железом с целью удаления железа(III) путем восстановления. На Фиг. 12 показаны данные равновесия для экстракции железа из раствора хлорида железа(III). Органический раствор, содержащий 90 об.% ТВР в ароматическом керосине (Solvesso150).

[00379] Со-экстракция галлия трибутилфосфатом из раствора хлорида железа(III) показана в таблице 4.

Таблица 4. Со-экстракция галлия

Органический раствор (90 об. % ТВР в керосине)

Водный раствор (40% FeCl₃, 270 мг/л Ga, Eh 500 мВ)

Органическая	Водная	Вод/Орг	Орг - Ga	Вод - Ga	D _{Ga}	P _{Ga}
мл	мл	-	мл	мл	C _o /C _в	%
101,5	8,5	0,08	6,9	188	0,037	30,4
71,5	8,5	0,12	9,5	190	0,050	29,6
51,3	8,7	0,17	12,4	197	0,063	27,0
41	19	0,46	43,6	176	0,248	34,8
43	38	0,88	124	130	0,952	51,9
20	60	3,00	453	119	3,807	55,9

[00380] Со-экстрагированный галлий можно частично удалить путем очистки водой при высоком фазовом соотношении. Указанная очистка позволяет снизить потери галлия из насыщенного органического раствора. Данные равновесия для очистки галлия из насыщенного органического раствора показаны на Фиг. 13 (равновесная кривая, орг. раствор (90 об.% ТВР, содержащий 110 г/л Fe, 0,13 г/л Ga) водный раствор (вода).

[00381] Данные равновесия для реэкстракции железа из насыщенного органического раствора показаны на Фиг. 14 (орг. раствор (90 об.% ТВР, содержащий 110 г/л Fe, 0,13 г/л Ga) водный раствор (вода).

[00382] Исходный раствор галлия и скандия получали путем растворения осадка галлий/скандий из раствора соляной кислоты, содержащего 10 моль/л HCl. Эксперименты проводили с 50 об.% ТВР, разбавленным в алифатическом керосине (D85). Изодеканол использовали в указанных экспериментах в качестве модификатора для предотвращения образования третьей фазы. Данные равновесия для экстракции галлия и скандия показаны на Фиг. 15 (орг. раствор (50 об.% ТВР в керосине; вод. раствор 6 г/л Ga, 2,2 г/л Sc и 10 моль/л HCl).

[00383] На Фиг. 16 показана со-экстракция соляной кислоты в ходе экстракции галлия и скандия (орг. раствор (50 об.% ТВР в керосине; вод. раствор (6 г/л Ga, 2,2 г/л Sc и 10 моль/л HCl). Затем указанный органический растворитель дополнительно насыщали галлием и скандием для проведения экспериментов по очистке скандия и реэкстракции галлия.

[00384] Для удаления скандия из насыщенного органического раствора использовали 5 моль/л, 6 моль/л и 7 моль/л растворы HCl при соотношении О/А 1 к 1. Данная очистка приводила к значительному снижению количества скандия в насыщенном органическом растворе. Влияние очищающего раствора соляной кислоты на эффективность очистки скандия показана в таблице 5.

Таблица 5. Исследования очистки скандия

орг. раствор (50 об. % TBP; содержащий 1,3 г/л Ga, 1,2 г/л Sc, начальное соотношение Ga/Sc 1,07)

вод. раствор (раствор соляной кислоты)

Очищающий раствор	Вод/Орг	D_{Ga}	D_{Sc}	S	Соотношение Ga/Sc
Моль/л HCl	-	C_o/C_b	C_o/C_b	D_o/D_b	$[C_{Ga}/C_{Sc}]_{org}$
5	1,0	266	0,034	7704	31,9
6	1,0	710	1,553	514	1,75
7	1,0	799	5,667	125	1,25

[00385] Данные равновесия для очистки скандия из насыщенного органического раствора показаны на Фиг. 17. (орг. раствор (50 об.% TBP, 7,3 г/л Ga, 1,6 г/л Sc); водный раствор (Вода).

[00386] Данные равновесия для реэкстракции галлия из насыщенного органического раствора показаны на Фиг. 18 (орг. раствор (7,5% TBP в керосине, 0,4 г/л Ga; водный раствор (вода).

[00387] Состав водного исходного раствора и рафината в ходе исследования экстракции растворителем приведен в таблице 6.

Таблица 6. [Состав водного исходного раствора и рафината Орг. раствор (50 об. % TBP в керосине) Вод. раствор (6 г/л Ga, 2,2 г/л Sc и 10 моль/л HCl)

Металл	Водный исходный раствор	Рафинат	Эффективность экстракции
	г/л	мг/л	%
Галлий	6	<5	99
Скандий	2,2	<5	99

[00388] Сначала, очистка скандия и со-экстрагированной соляной кислоты водой при очень высоком соотношении О/А приводила к получению раствора хлорида скандия. Очистка является селективной по отношению к скандию и оставляя галлий очищенном органическом растворе. Затем галлий можно реэкстрагировать из полученного очищенного органического раствора с помощью воды при соотношении О/А 2 к 1.

Экстракция легких и тяжелых редкоземельных элементов

[00389] Как было показано ранее, экстракция редкоземельных элементов может зависеть от концентрации ионов водорода (H⁺). Следовательно, органо-фосфорные экстрагенты являются рН зависимыми экстрагентами. Можно использовать доступные коммерческие реагенты, такие как ди(этилгексил)ортофосфорная кислота (D2EHPA), ди(этилгексил)фосфоновая кислота (Ionquest 801). Селективность вычисляют как

показатель коэффициентов распределения иттрия по сравнению церием. Как показано на Фиг. 19 (орг. раствор (10 об.% реагент в керосине; вод. раствор (6,4 г/л Y, 107 г/л Се, исходный pH 1,5, Eh +430 мВ). ниже, селективность по иттрию/церию lonquest 801 повышается до pH 1 и затем падает.

5 [00390] На основании селективности по отношению к иттрию по сравнению с церием была выбрана ди(этилгексил)фосфоновая кислота (lonquest 801). Эксперименты проводили с 10 об.% lonquest 801, разбавленным в алифатическом керосине (D85). В указанных экспериментах не использовали модификатор. Зависимость экстракции иттрия и церия от pH в хлоридной среде показана на Фиг. 20 (экстракция церия и иттрия
10 в хлоридном растворе с ди(этилгексил)фосфоновой кислотой (lonquest 801) и ди(этилгексил)ортофосфорной кислотой (D2ЕНРА.)

Экстракция иттрия

[00391] Был выбран реагент ди(этилгексил)фосфоновая кислота (lonquest 801). Эксперименты проводили с 10 об.% lonquest 801, разбавленным в алифатическом
15 керосине (D85). В указанных экспериментах не использовали модификатор. Значение в ходе экстракции иттрия поддерживали постоянным при pH 1,4 путем регулирования по каплям с помощью раствора гидроксида натрия (2 моль/л NaOH). Данные равновесия для экстракции иттрия из водного раствора, содержащего иттрий и церий, показаны на Фиг. 21 (орг. раствор (10 об.% lonquest 801 в керосине; вод. раствор (6,4 г/л Y, 107
20 г/л Се, исходный pH 1,5, Eh +430 мВ).

[00392] Степень извлечения иттрия составляла более 99%. Максимальная нагрузка иттрия в реагенте 10% об.% lonquest 801 составляла примерно 10 г/л иттрия.

[00393] Меньшие количества со-экстрагированного церия были удалены путем очистки с помощью разбавленной соляной кислоты. Это действие значительно снизило
25 количество церия в насыщенном органическом растворе. Данные равновесия для очистки церия из насыщенного органического раствора показаны на Фиг. 22 (орг. раствор (10 об.% lonquest 801, содержащий 0,1 г/л Се; вод. раствор 1 моль/л HCl).

[00394] Измеренные концентрации в водном исходном растворе и рафинате, полученные в экспериментах по экстракции иттрия, показаны в таблице 7.

30 **Таблица 7. Состав водного исходного раствора и рафината**

Орг. раствор (10 об. % lonquest 801 в керосине)

исход. раствор (6,4 г/л Y, 107 г/л Се, исход. pH 1,5, Eh +430 мВ)

35	Металл	Водный исходный раствор	Рафинат	Эффективность экстракции
		г/л	мг/л	%
40	Иттрий	6,4	0,1	98
	Церий	107	107	0,2

[00395] Данные равновесия для реэкстракции иттрия из насыщенного органического раствора показаны на Фиг. 23 (орг. раствор (10 об.% lonquest 801 в керосине, содержащий
45 1 г/л Y); водный раствор (3,5 моль/л HCl).

Отделение диспрозия и эрбия

[00396] Исходный раствор получали путем растворения хлорида диспрозия, хлорида эрбия и хлорида иттрия в водопроводной воде. Эксперименты проводили с

трибутилфосфатом (ТВР), Alamine® 336 и Aliquat® 336, разбавленными в алифатическом керосине (D85). Значение pH регулировали до pH 3 путем добавления по каплям раствора аммиака (25%). Органические растворы приводили в контакт в течение примерно от 10 до 15 минут в перемешиваемых стаканах. Соотношение органической и водной фаз (О/А) составляло 1/1. Отделение и очистка диспрозия и эрбия с помощью ТВР, Alamine® 336 и Aliquat® показана в таблице 8.

Таблица 8. Исследования разделения диспрозия и эрбия

Орг.раствор ТВР, Alamine® 336 и Aliquat®336

Вод.раствор (6,7 г/л Dy, 7,1 г/л Er, 6,2 г/л Y, исход. pH 3 в 1 моль/л NH₄SCN)

Экстрагент	S(D _{Dy} /D _Y)	S(D _{Er} /D _Y)
ТВР	7,2	5,7
Alamine® 336	0,6	0,8
Aliquat®	1,1	2,3

[00397] На основании селективности в отношении диспрозия и эрбия по сравнению с иттрием был выбран реагент трибутилфосфат (ТВР). Эксперименты проводили с 80 об.% ТВР, разбавленным в алифатическом керосине (D85). В указанных экспериментах не использовали модификатор. Исследовали влияние концентрации тиоцианата аммония на экстракцию и отделение диспрозия и эрбия от иттрия. Данные равновесия для экстракции диспрозия и эрбия показаны в таблице 9.

Таблица 9. Исследования разделения диспрозия и эрбия

Орг.раствор 80 об. % ТВР в керосине

Вод.раствор (6,7 г/л Dy, 7,1 г/л Er, 6,2 г/л Y, исход. pH 3 в 1 моль/л NH₄SCN)

NH ₄ SCN	S	S
моль/л	(D _{Dy} /D _Y)	(D _{Er} /D _Y)
0	7,9	24
0,3	2,9	2,3
0,5	2,6	2,4
0,75	2,5	2,4
1,0	2,5	2,3

[00398] Со-экстрагированный иттрий удаляли путем очистки водой при высоком соотношении О/А. Указанная очистка привела к значительному снижению потерь иттрия из ТВР насыщенного органического раствора. Данные равновесия для очистки иттрия из насыщенного органического раствора показаны на Фиг. 24 (орг. раствор (80 об.% ТВР в керосине, 1,2 г/л Y); водный раствор (Вода).

[00399] Наконец, данные равновесия для рекстракции диспрозия водой показаны на Фиг. 25 (орг. раствор (80 об.% ТВР в керосине, 8,4 г/л Dy); водный раствор (вода).

Сводные данные исследований экстракции растворителем

[00400] Исследования привели к следующим примерам условий экстракции, применимым для водного исходного раствора железа(III) (таблица 10).

Таблица 10. Выбранные условия удаления железа(III)

Удаление железа		Выбранные условия
Концентрация ТВР	%	90
Концентрация модификатора (изодеканол)	%	-
Ароматический керосин (Solvesso 150)	%	10
Нагрузка на единицу поверхности, водная непрерывная (35°C)	м/ч	2-3
Нагрузка железом	г/л	100
Выход экстракции железа	%	90
Концентрация рафината железа	г/л	20
Сонагрузка галлием	мг/л	100-130

[00401] Исследования привели к следующим примерам условий экстракции, применимым для водного раствора галлия и скандия раствор (таблица 11).

Таблица 11. Выбранные условия удаления железа галлия и скандия.

Извлечение галлия и скандия		Выбранные условия
Концентрация ТВР	%	50
Концентрация модификатора (изодеканол)	%	15-20
Ароматический керосин	%	30-35
Нагрузка на единицу поверхности, водная непрерывная	м/ч	2-3

5	(25°C)		
	Нагрузка галлием	г/л	30-35
	Выход экстракции галлия	%	>99
10	Концентрация рафината галлия	мг/л	<1
	Нагрузка скандием	г/л	10-15
	Выход экстракции скандия	%	99
	Концентрация рафината скандия	мг/л	10-20

[00402] Галлий обжигали и чистота полученного Ga_2O_3 составляла 99,99+%.

Примесями были 8,9 ppm Cl и 1,1 ppm Al.

[00403] Скандий также обжигали и чистота полученного Sc_2O_3 составляла более 99,9%. Основными примесями были 260 ppm S и 390 ppm Zr.

[00404] Исследования привели к следующим примерам условий экстракции, применимым для водного раствора редкоземельных элементов (Таблица 12).

Таблица 12. Выбранные условия экстракции редкоземельных элементов (иттрия)

Извлечение иттрия		Выбранные условия	
25	Концентрация Ionquest 801	%	10
	Ароматический керосин (D85)	%	90
	Нагрузка на единицу поверхности, водная непрерывная (25°C)	м/ч	2-3
30	Нагрузка иттрием	г/л	10
	Выход экстракции иттрия	%	>98
	Концентрация рафината иттрия	мг/л	10-20

[00405] Исследования привели к следующим примерам условий экстракции, применимым для водного раствора отделения тяжелых редкоземельных элементов от раствора после рекстракции иттрия (Таблица 13).

Таблица 13. Выбранные условия экстракции тяжелых редкоземельных элементов (Dy, Er)

Удаление HRE (Dy, Er)		Выбранные условия
Концентрация TBP	%	80
Ароматический керосин (D85)	%	20
Нагрузка на единицу поверхности, водная непрерывная (25°C)	м/ч	3-4
Нагрузка HRE	г/л	10
Выход экстракции HRE	%	99
Концентрация рафината HRE	г/л	5-10

[00406] Была показана процедура извлечения галлия, иттрия и скандия, проведенная путем удаления железа(III), с последующей нейтрализацией и осаждением галлия и скандия. Для предотвращения и/или снижения со-осаждения железа оставшееся железо (III) можно дополнительно обработать (восстановить) путем использования металлического железа.

Были исследованы шесть основных стадий способа:

Стадия 1: Удаление железа(III). Удаления железа(III) из исходного раствора путем экстракции растворителем с использованием трибутилфосфата (TBP) в керосине;

Стадия 2: Конечное удаление железа. Удаления железа путем восстановления с использованием металлического железа;

Стадия 3: Осаждение галлия и скандия. Удаление галлия и скандия с использованием известняка или оксида магния;

Стадия 4: Отделение галлия и скандия. Отделение и извлечение галлия и скандия из раствора повторного выщелачивания, содержащего 10 моль/л соляной кислоты, основанное на экстракции растворителем с использованием трибутилфосфата (TBP) в керосине;

Стадия 5: Осаждение иттрия и других редкоземельных элементов. Удаление иттрия и других редкоземельных элементов путем нейтрализации и осаждения с использованием известняка с последующим повторным выщелачиванием в разбавленной соляной кислоте;

Стадия 6: Извлечение иттрия. Отделение и извлечение иттрия из полученного на стадии 5 раствора путем экстракции растворителем с использованием ди(этилгексил) фосфоновой кислоты (Ionquest 801); и

Стадия 7: Отделение иттрия от HRE. Отделение и извлечение иттрия от тяжелых редкоземельных элементов, в основном диспрозия и эрбия, путем экстракции растворителем с использованием трибутилфосфата (TBP) в керосине.

Удаление железа(III)

Экстракция растворителем железа(III)

[00407] Полученный исходный водный раствор, содержащий 40% хлорида железа (III) и 270 мг/л галлия (201), подавали в контур удаления железа. Железо экстрагировали в противоточном режиме органическим раствором, содержащим 90% TBP, растворенного в ароматическом керосине (Solvesso150) (202). Выход экстракции железа достиг 90%. Со-экстрагированный галлий собирали в органической фазе до 0,13 г/л галлия. Полученный органический раствор (203), содержащий железо и небольшие

количества галлия, подавали в контур очистки. Здесь галлий очищали в противоточном режиме водным раствором воды (204) при высоком фазовом соотношении. Затем органический растворитель направляли в контур реэкстракции. Здесь железо (206) экстрагировали в противоточном режиме водой (207) до возврата органического раствора (205) в контур экстракции.

Восстановление железа(III)

[00408] Со-экстракцию железа(III) можно предотвратить и/или путем сначала восстановления до железа(II) с использованием железа (0). Полученный рафинат (209), содержащий алюминий, галлий, скандий, редкоземельные элементы и экстрагированное железо(III), обрабатывали стехиометрическими количествами порошка железа (210) для исключения ионов железа(III). Крахмал можно также использовать для проведения восстановления.

Извлечение галлия и скандия

Осаждение галлия и скандия

[00409] Осаждение и извлечение галлия и скандия проводили для отделения галлия и скандия от других редкоземельных элементов и для предварительного концентрирования как галлия, так и скандия для дальнейшей обработки. Затем, полученный фильтрат (211), обедненный железом(III), направляли на первичную стадию удаления галлия и скандия. Здесь добавляли известняк (212) в качестве нейтрализующего реагента. На этой стадии раствор поддерживали при постоянном pH в течение от 15 до 30 мин и в условиях контролируемого RedOx при низком уровне pH. Достижали 99% выход осаждения галлия и скандия. В осадке галлия и скандия редкоземельные элементы обнаруживали в очень низкой концентрации. Фильтрационный продукт (225) подавали в систему обезвоживания. Затем полученную суспензию (213) подготавливали для повторного выщелачивания концентрированным раствором соляной кислоты (214).

Экстракция растворителем галлия и скандия

[00410] Полученный фильтрат (215) со стадии повторного выщелачивания галлия и скандия подавали в контур отделения галлия и скандия. Галлий и скандий экстрагировали в противоточном режиме органическим раствором, содержащим 50 об.% ТВР, растворенного в ароматическом керосине (D85) (216). Достижали 99% выход экстракции галлия и скандия.

[00411] Со-экстрагированное железо собирали в органической фазе до 0,2 г/л Fe. Полученный органический раствор (218), содержащий галлий и скандий и небольшие количества железа, подавали в контур очистки. Здесь скандий очищали в противоточном режиме водным раствором воды (219) при высоком соотношении фаз с получением продукта (221). Затем органический растворитель (220) направляли в установку реэкстракции, где галлий реэкстрагировали в противоточном режиме водой (222) до возврата органического раствора (223) в контур экстракции и извлечения галлия (224). Рафинат соляной кислоты также извлекали (217).

Извлечение иттрия

Гидроксидное осаждение редкоземельных элементов

[00412] Фильтрат (225) со стадии осаждения галлия и скандия подавали в контур дополнительной нейтрализации. Здесь редкоземельные элементы осаждали известняком (226) путем повышения pH до 8 в течение 60 мин при контролируемом окислительно-восстановительном потенциале и повышенной (60°C) температуре. Достижали более 99% осаждение исследованных редкоземельных элементов. Оставшееся железо(II) осаждали вместе с редкоземельными элементами. Затем осадок (227) подготавливали для повторного выщелачивания концентрированным раствором соляной кислоты (228).

Первичная экстракция растворителем иттрия

[00413] Полученный продукт (229) со стадии осаждения галлия и скандия подавали в контур экстракции иттрия. Иттрий экстрагировали в противоточном режиме органическим раствором (230), содержащим 10 об.% Ionquest 801, растворенного в ароматическом керосине (D85). Полученный выход экстракции иттрия составлял более 99%. Со-экстрагированный церий собирали в органической фазе до 0,1 г/л Се.

[00414] Вследствие высокой концентрации церия в водном растворе церий может быть перенесен в раствор после реэкстракции путем водного уноса раствора после выщелачивания. Следовательно, для предотвращения загрязнения церием можно включить одну дополнительную стадию очистки. Например, органическую фазу (232) можно обрабатывать очищающим раствором (233), таким как 1 N HCl, с удалением церия и получения композиции (234). В итоге, рафинат LRE (Ce, Nd, Eu, Pr) (231) можно обрабатывать с отделением одного от другого и необязательно очищать их (см. Фиг. 5G).

[00415] Полученный органический раствор (235), содержащий иттрий, подавали в контур реэкстракции. Здесь, иттрий реэкстрагировали в противоточном режиме раствором, содержащим 3,5 моль/л соляной кислоты (236). Наконец, до возврата органического раствора на первичную экстракцию иттрия, часть указанного органического реагента промывали разбавленным раствором гидроксида натрия на одной стадии смесителя-осадителя для регенерации органических соединений и удаления скандия.

Конечная экстракция растворителем иттрия

[00416] Во втором способе экстракции растворителем диспрозий и эрбий удаляют из раствора после реэкстракции иттрия (237) после нейтрализации. Диспрозий и эрбий экстрагировали в противоточном режиме органическим раствором, содержащим 80 об.% трибутилфосфата (ТВР), растворенного в органическом керосине (D85) (238), с получением, таким образом, рафината иттрия (239). Получали выход экстракции тяжелых редкоземельных элементов более 99% в контролируемых условиях pH. Полученный органический раствор (240), содержащий тяжелые редкоземельные элементы и небольшие количества иттрия, направляли на операцию очистки. Здесь иттрий (242) очищали водой (241) при высоком соотношении фаз в противоточном режиме на оборудовании типа многоступенчатый смеситель-осадитель. Раствор после очистки (242) возвращали в исходный раствор. Органический растворитель, обедненный иттрием (243), реэкстрагировали водой (244) и возвращали в петлю экстракции. Раствор после реэкстракции диспрозия и эрбия (245) является исходным раствором для отделения диспрозия и эрбия.

[00417] Полученный иттрий обжигали до Y_2O_3 и получали чистоту 99,9+%. Примесями были 26 ppm Si, 51 ppm Dy и 6,2 ppm Al.

Пример 5

[00418] Другие исследования проводили путем использования способа, показанного на Фиг. 26. Выщелачивание фильтрационного осадка гидроксидов редкоземельных элементов (327) проводили с использованием соляной кислоты (328). Специалисту в данной области техники будет понятно, что способ, показанный на Фиг. 26, можно использовать для обработки различных композиций, включая осадок (227), представленный на Фиг. 5с. Например, указанный осадок (327) на Фиг. 26 может быть таким же, как и осадок (227) на Фиг. 5с.

[00419] Обогащенный раствор после выщелачивания (329) (после тонкой фильтрации) представлял собой исходный раствор для стадий отделения редкоземельных элементов.

Данный водный исходный раствор содержащий, церий, празеодим, неодим, европий, диспрозий, эрбий и иттрий, приводили в контакт с D2ЕНРА или lonquest 801 в керосине. Щелочи использовали для регулирования pH в ходе процедуры экстракции. Диспрозий, эрбий, а также иттрий (HRE) экстрагировали, оставляя церий, празеодим, неодим и европий (LRE) в рафинате (331).

[00420] Затем насыщенную органическую фазу селективно очищали с помощью соляной кислоты (от 1 до 2 М HCl) с удалением со-экстрагированных LRE. Затем экстракт, содержащий диспрозий, эрбий и иттрий, реэкстрагировали с помощью соляной кислоты (от 3 до 4 М HCl) (336).

[00421] Отделение иттрия от раствора после реэкстракции (337) можно осуществлять путем его экстракции с трибутилфосфатом (ТБФ) в керосине. Указанную обработку можно осуществлять в ходе многоступенчатой процедуры, и заканчивая конечной реэкстракцией насыщенной органики водой (344). Все HRE по существу селективно экстрагировали, оставляя иттрий в рафинате (339). Раствор после реэкстракции (345), содержащий HRE, является источником для стадии дополнительного отделения тяжелых редкоземельных элементов (HRE).

Отделение эрбия от диспрозия

[00422] Конечный раствор после реэкстракции из процесса отделения иттрия (345), содержащий диспрозий и эрбий, обрабатывали путем экстракции растворителем с использованием D2ЕНРА или lonquest 801 в керосине, оставляя диспрозий в рафинате (347). Щелочи использовали для регулирования pH в контуре экстракции. Затем насыщенную органическую фазу очищали соляной кислотой (от 2 до 3 М HCl) с удалением со-экстрагированного диспрозия. Затем экстракт, содержащий эрбий, реэкстрагировали соляной кислотой (от 3 до 4 М HCl) (346) с получением раствора после реэкстракции эрбия (348).

[00423] Полученный таким образом диспрозий обжигали с целью получения Dy_2O_3 , имеющего чистоту 99,9+%. Другими примесями были в основном 440 ppm Yb и 100 ppm Ca.

[00424] Полученный таким образом эрбий обжигали с целью получения Er_2O_3 , имеющего чистоту 99,9+%. Другими примесями были в основном 390 ppm Y и 140 ppm Al.

Отделение церия путем окисления и осаждения церия

[00425] Рафинат (331А) с первичного отделения подавали в установки окисления и осаждения церия. Окисление церия проводили путем добавления окисляющего реагента. Например, можно использовать гипохлорит натрия (349). Осаждение гидроксида церия можно проводить при pH от примерно 0,5 до примерно 1,5 или pH примерно 1 после добавления щелочи (350). Выходной поток со стадии окисления церия (352) подавали в контур отделения европия. Фильтрационный осадок (351), содержащий гидроксид церия, промывали кислой водой, обезвоживали и сохраняли для дальнейшей переработки.

[00426] Полученный таким образом церий обжигали до Se_2O_3 , и чистота составляла 99,5+%. Примесями были 330 ppm K, 280 ppm Pr и 50 ppm Y.

Отделение европия

[00427] Полученный фильтрат (352) со стадии извлечения церия использовали для отделения европия от празеодима и неодима. Водный исходный раствор приводили в контакт с D2ЕНРА или lonquest 801 в керосине. Европий экстрагировали и оставляли празеодим, неодим в рафинате (354). Щелочи использовали для регулирования pH в

контуре экстракции. На стадии очистки со-экстрагированный празеодим и неодим удаляли путем использования слабой соляной кислоты (от 0,5 до 1,5 М HCl). Затем, экстракт, содержащий европий, реэкстрагировали соляной кислотой (от 2 до 3 М HCl) (353).

5 Восстановление и осаждение европия

[00428] Восстановление европия(III) проводили путем добавления восстанавливающего реагента. Например, европий (355) можно восстановить с помощью цинковой пыли или альтернативных соединений (361). Осаждение сульфата европия можно проводить после добавления сульфата натрия (362). Выходящий поток с контура с восстановления европия направляли на стадию обработки отходов. Фильтрационный осадок (363), содержащий сульфат европия, промывали кислой водой, обезвоживали и сохраняли для дальнейшей переработки.

Отделение неодима от празеодима

[00429] Рафинат (354) со стадии отделения европия состоял, по большей части, из празеодима и неодима. Разделение празеодима и неодим проводили с помощью D2ЕНРА или Ionquest 801 в керосине. Неодим экстрагировали, оставляя празеодим в рафинате (357). Щелочи использовали для регулирования pH в контуре экстракции. Затем насыщенную органическую фазу очищали соляной кислотой (от 2 до 3 М HCl) (356) с удалением со-экстрагированного празеодима. Затем органический экстракт (356), к этому времени содержащий неодим, реэкстрагировали соляной кислотой (от 3 до 4 М HCl) (359) с получением раствора после реэкстракции неодима (360).

[00430] Полученный таким образом неодим обжигали до Nd_2O_3 и получали чистоту 99,9+%. Примесями были 330 ppm K, 280 ppm Pr и 50 ppm Y.

[00431] Чтобы продемонстрировать универсальность способов согласно настоящему изобретению, были проведены несколько других исследований, чтобы показать, таким образом, что указанные способы применимы к различным источникам исходного материала.

Пример 6

[00432] Другой исходный материал был использован для получения кислых композиций, содержащих различные компоненты. Фактически, исследовали материал, представляющий собой концентрат редкоземельных элементов и редких металлов (в частности, обогащенный цирконием). В таблице 14 показаны результаты выщелачивания, проведенного с таким исходным материалом с использованием способа, аналогичного показанному на Фиг. 1 и 2 и подробно описанному в Примерах 1-3. Таким образом, исходя из Таблицы 14, можно прийти к выводу, что редкоземельные элементы и редкие металлы, экстрагированные и присутствующие в полученной композиции выщелачивания, можно в итоге выделять с помощью способов согласно настоящему изобретению, таких как, например, способы, представленные в Примерах 4 и 5. Полученные результаты по меньшей мере на 20% превосходили результаты выщелачивания, проведенного помощью H_2SO_4 .

Таблица 14. Исследования, выполненные с использованием материала, обогащенного цирконием.

Исходный материал	Измеренный и/или рассчитанный состав (% масс.)	Средний измеренный для исследования (% масс.)	Измеренная степень экстракции (ALP) (%)	Способ извлечения по O All Orbite (%)
-------------------	--	---	---	---------------------------------------

	Al ₂ O ₃	6,12	6,12	89,65	86,97
	Fe ₂ O ₃	15,80	15,80	99,50	97,51
	SiO ₂	36,00	36,00	0,000	99,997
5	MgO	3,08	3,08	99,75	92,66
	Na ₂ O	1,13	1,13	99,50	99,50
	K ₂ O	2,12	2,12	99,50	99,50
	CaO	6,10	6,10	99,50	99,00
	S total	0,22	0,22		100,00
	F	1,98	1,98	99,50	99,00
	TiO ₂	0,13	0,13	0,000	99,03
10	V ₂ O ₅	0,00	0,00	98,00	96,04
	P ₂ O ₅	1,10	1,10	98,00	96,04
	MnO	0,43	0,43	98,00	96,04
	ZrO ₂	12,43	12,43	22,70	20,43
	Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00
	Ce ₂ O ₃	3,05	3,045	97,31	92,98
15	La ₂ O ₃	1,34	1,337	99,55	92,68
	Nd ₂ O ₃	1,55	1,551	98,40	94,79
	Pr ₂ O ₃	0,37	0,375	99,75	97,52
	Sm ₂ O ₃	0,15	0,151	88,75	84,80
	Dy ₂ O ₃	0,09	0,089	80,35	76,77
	Er ₂ O ₃	0,03	0,030	72,60	69,37
20	Eu ₂ O ₃	0,03	0,027	85,57	81,76
	Gd ₂ O ₃	0,21	0,205	82,85	79,16
	Ho ₂ O ₃	0,01	0,013	77,10	73,67
	Lu ₂ O ₃	0,00	0,003	60,15	57,47
	Tb ₂ O ₃	0,02	0,022	78,05	74,58
	Th	0,02	0,022	88,10	84,18
25	Tm ₂ O ₃	0,00	0,004	66,85	63,88
	U	0,01	0,014	81,90	78,26
	Y ₂ O ₃	0,30	0,300	72,70	69,46
	Yb ₂ O ₃	0,02	0,023	62,80	60,01
	Ga ₂ O ₃	0,02	0,016	96,90	92,59
30	Sc ₂ O ₃	0,00	0,003	95,00	90,77
	LOI (вкл. воду)	6,122023973	6,12		

Пример 7

[00433] Другие исследования проводили также, как описано в Примере 6. В данном примере карбонатит использовали в качестве исходного материала (см. таблицу 15 ниже).

Таблица 15. Исследования, выполненные с использованием карбонатита

Исходный материал	Измеренный и/или рассчитанный состав (% масс.)	Средний измеренный для исследования (% масс.)	Измеренная степень экстракции (ALP) (%)	Способ извлечения по O All Orbite (%)
Al ₂ O ₃	0,70	0,70	84,31	81,61
Fe ₂ O ₃	11,22	11,22	94,14	92,15

	SiO ₂	2,11	2,11	0,00003	99,997
	MgO	6,50	6,500	100	96,25
	Na ₂ O	0,07	0,07	92,54	90,55
	K ₂ O	0,18	0,181	37,33	37,33
5	CaO	16,51	16,51	100	98,00
	TiO ₂	0,00	0,000	0,00000	100,000
	V ₂ O ₅	0,00	0,000	0	100,000
	P ₂ O ₅	0,00	0,000	0	100,000
	MnO	0,00	0,000	0	100,000
	ZrO ₂	0,00	0,000	0	100,000
10	Cr ₂ O ₃	0,00	0,000	0	100,000
	Ce ₂ O ₃	1,19	1,195	64,04	61,190
	La ₂ O ₃	0,46	0,463	63,86	61,018
	Nd ₂ O ₃	0,45	0,448	81,46	77,835
	Pr ₂ O ₃	0,14	0,142	67,59	64,582
	Sm ₂ O ₃	0,03	0,033	65,32	62,413
15	Dy ₂ O ₃	0,00	0,000	78,12	74,644
	Er ₂ O ₃	0,00	0,000	86,15	82,316
	Eu ₂ O ₃	0,01	0,007	66,45	63,493
	Gd ₂ O ₃	0,01	0,013	54,46	52,037
	Ho ₂ O ₃	0,00	0,000	83,12	79,421
	Lu ₂ O ₃	0,00	0,000	88,86	84,906
20	Tb ₂ O ₃	0,00	0,001	41,42	39,577
	Th	0,06	0,065		
	Tm ₂ O ₃	0,00	0,000	90,70	86,664
	U	0,01	0,007		
	Y ₂ O ₃	0,00	0,000	84,68	80,912
	Yb ₂ O ₃	0,00	0,000	85,11	81,323
25	Ga ₂ O ₃	0,00	0,000	0	0,000
	Sc ₂ O ₃	0,00	0,000	0	0,000
	LOI (вкл. воду)		60,33		

Пример 8

Другую серию исследований проводили с использованием аргиллита согласно способам, описанным в предыдущих примерах.

Исходный измеренный состав:

Таблица 16. Исходный состав исходного материала

Элемент	Измеренный состав (масс.)
Al ₂ O ₃	24,00%
Fe ₂ O ₃	8,51%
MgO	1,33%

5	Na_2O	1,06%
	K_2O	2,86%
	Ce_2O_3	176 ppm
	La_2O_3	88 ppm
10	Nd_2O_3	82 ppm
	Pr_2O_3	22 ppm
	Sm_2O_3	15 ppm
15	Dy_2O_3	11,5 ppm
	Er_2O_3	6,3 ppm
20	Ece_2O_3	2,9 ppm
	Gd_2O_3	15,0 ppm
25	Y_2O_3	67,0 ppm
	Ga_2O_3	51 ppm
30	Sc_2O_3	28 ppm

Образцы выщелачивали в периодическом режиме при примерно от 150 до примерно 160°C в течение 6 часов с помощью 18,0 масс.% HCl + 5% избыток.

Были измерены следующие выходы экстракции выщелачиванием.

Таблица 17. Измеренные выходы экстракции выщелачиванием экстракции

35	Исходный элемент	Измеренная экстракция (%)
	Al_2O_3	97,9
40	Fe_2O_3	100
	MgO	96,4

Na ₂ O	92,8
K ₂ O	94,0
RE-O вкл. Sc и Ga	96,7

После проведения основных стадий непрерывного способа были измерены следующие выходы.

Таблица 18. Суммарный выход извлечения

Элемент	Суммарное извлечение (%)
Al ₂ O ₃	96,20
Fe ₂ O ₃	98,01
MgO	92,64
Na ₂ O	90,77
K ₂ O	93,97
RE/RM-O	90,04

После стадий ионного обмена и растворителя для экстракции индивидуальное извлечение, измеренное для редкоземельных элементов и редких металлов, было:

Таблица 19.

Элемент	Измеренное извлечение (%)
Ga ₂ O ₃	83,58
Sc ₂ O ₃	95,16
Ce ₂ O ₃	93,63

	La_2O_3	86,81
	Nd_2O_3	91,00
5	Pr_2O_3	96,00
	Sm_2O_3	87,14
10	Dy_2O_3	93,00
	Er_2O_3	91,38
	Eu_2O_3	93,83
15	Gd_2O_3	95,89
	Y_2O_3	82,95

Исходя из измеренного материального баланса расходование химических реагентов на стадии экстракции растворителем составляло:

Железный порошок: 0 - Fe_2O_3 удаленного с гидролиза;

HCl (32% масс.): 0,75 кг/ч в виде раствора для реэкстракции на 5х стадиях отделения REE и повторного выщелачивания оксалатов REE;

Нано вода: 10 кг/ч для раствора для реэкстракции и промывки осадка;

Щавелевая кислота: 325 г/ч для осаждения оксалатов REE;

ДЕНРА 5х растворов: несколько грамм в час;

ТВР 5х органических растворов: 6,5 г/ч для извлечения галлия и отделения иттрия;

Керосин: <5 г/ч.

[00434] Таким образом, исходя из Таблицы 15, можно прийти к выводу, что редкоземельные элементы и редкие металлы, экстрагированные и присутствующие в полученной композиции выщелачивания, можно в итоге выделять с помощью способов согласно настоящему изобретению, таких как, например, способы, представленные в Примерах 4 и 5.

[00435] Способы согласно настоящему изобретению обеспечивают множество важных преимуществ и особенностей по сравнению с известными способами.

[00436] Специалисту в данной области техники будет понятно, что описанные в настоящем описании способы экстрагирования редкоземельных элементов и редких металлов можно использовать для обработки различных исходных материалов.

Например, любые составы, содержащие по меньшей мере один редкоземельный элемент и/или по меньшей мере один редкоземельный металл, можно использовать в качестве

исходного материала. Например, любые составы, содержащие по меньшей мере один ион железа и по меньшей мере один редкоземельный элемент, можно использовать в качестве исходного материала.

[00437] Специалисту в данной области техники будет понятно, что способы согласно настоящему изобретению можно использовать в комбинации с различными способами обработки алюминийсодержащих материалов и производных, цинксодержащих материалов и их производных, медьсодержащих материалов и их производных, никельсодержащих материалов и их производных, магнийсодержащих материалов и их производных и титансодержащих материалов.

[00438] Фактически, различные другие обработки можно проводить в отношении алюминийсодержащих материалов и производных, железосодержащих материалов и производных, цинксодержащих материалов и их производных, медьсодержащих материалов и их производных, никельсодержащих материалов и их производных, магнийсодержащих материалов и титансодержащих материалов и их производных.

[00439] Таким образом, было показано, что способы согласно настоящему изобретению позволяют эффективно использовать существующие растворители для экстракции редкоземельных элементов. Кроме того, было показано, что альтернатива, предложенная в указанных способах, является экономически эффективным и экологически чистым решением.

[00440] Хотя в описании были сделаны отсылки на конкретные варианты реализации изобретения, следует понимать, что специалисту в данной области техники будут очевидны различные модификации указанных вариантов. Соответственно, приведенное выше описание и чертежи следует воспринимать в качестве конкретных примеров, а не в ограничивающем смысле.

Формула изобретения

1. Способ извлечения по меньшей мере одного редкоземельного элемента из материала, содержащего редкоземельные элементы, включающий:

получение из указанного материала кислой композиции, содержащей (i) по меньшей мере один редкоземельный элемент и по меньшей мере один редкий металл, и (ii) по меньшей мере один ион железа,

по меньшей мере частичное удаление из указанной кислой композиции указанного по меньшей мере одного иона железа путем взаимодействия с экстрагирующим агентом, ионообменной смолой и/или путем взаимодействия указанной композиции с восстанавливающим агентом с получением композиции, имеющей пониженное содержание указанного по меньшей мере одного иона железа, и

взаимодействие указанной композиции, имеющей указанное пониженное содержание указанного по меньшей мере одного иона железа с осаждающим агентом с селективным осаждением первого редкоземельного элемента и первого редкого металла.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что указанная кислая композиция содержит (i) указанный по меньшей мере один редкоземельный элемент и необязательно указанный по меньшей мере один редкий металл и (ii) FeCl_3 .

3. Способ по п. 1 или 2, отличающийся тем, что указанный экстрагирующий агент выбран из трибутилфосфата, ди-2-этилгексилортофосфорной кислоты (HDEHP), бис (2,4,4-триметилпентил)фосфиновой кислоты и моно-2-этилгексилового эфира 2-этилгексилфосфоновой кислоты).

4. Способ по п. 1 или 2, отличающийся тем, что указанный экстрагирующий агент представляет собой трибутилфосфат.

5. Способ по п. 1 или 2, отличающийся тем, что указанный экстрагирующий агент представляет собой трибутилфосфат в керосине.

6. Способ по п. 1 или 2, отличающийся тем, что указанную кислую композицию подвергают взаимодействию с $\text{Fe}(0)$ с получением композиции, имеющей пониженное содержание Fe^{3+} .

7. Способ по п. 1 или 2, отличающийся тем, что указанный первый редкоземельный элемент представляет собой скандий.

8. Способ по п. 1 или 2, отличающийся тем, что указанный первый редкий металл представляет собой галлий.

9. Способ по п. 1 или 2, отличающийся тем, что указанный осаждающий агент выбран из щавелевой кислоты, NaOH , MgO , CaCO_3 и их смесей.

10. Способ по п. 9, отличающийся тем, что указанный осаждающий агент выбран из щавелевой кислоты и CaCO_3 .

11. Способ по п. 9, отличающийся тем, что указанный осаждающий агент представляет собой щавелевую кислоту.

12. Способ по п. 10, отличающийся тем, что указанный осаждающий агент представляет собой CaCO_3 .

13. Способ по п. 1 или 2, отличающийся тем, что указанный первый редкоземельный элемент и указанный первый редкий металл по существу селективно осаждают путем поддержания значения pH ниже 2.

14. Способ по п. 1 или 2, отличающийся тем, что указанный первый редкоземельный элемент и указанный первый редкий металл по существу селективно осаждают путем поддержания значения pH от примерно 1 до примерно 2.

15. Способ по п. 1 или 2, отличающийся тем, что указанный первый редкоземельный элемент и указанный первый редкий металл селективно осаждают путем поддержания окислительно-восстановительного потенциала примерно $E_h + 380$ мВ.

16. Способ по п. 1 или 2, дополнительно включающий выщелачивание указанного осадка и получение раствора выщелачивания.

17. Способ по п. 16, отличающийся тем, что указанный осадок выщелачивают HCl .

18. Способ по п. 17, отличающийся тем, что указанная HCl имеет концентрацию от примерно 5 до примерно 15 моль/л.

19. Способ по п. 16, отличающийся тем, что указанный раствор выщелачивания дополнительно экстрагируют экстрагирующим агентом с по существу селективной экстракцией указанного первого редкоземельного элемента и указанного первого редкого металла и получением насыщенной органической фазы.

20. Способ по п. 19, отличающийся тем, что указанный экстрагирующий агент представляет собой трибутилфосфат.

21. Способ по п. 19, отличающийся тем, что указанный экстрагирующий агент представляет собой трибутилфосфат в керосине.

22. Способ по п. 19, отличающийся тем, что указанный экстрагирующий агент представляет собой трибутилфосфат в керосине и в присутствии изодеканола.

23. Способ по любому из пп. 19-22, дополнительно включающий очистку указанной насыщенной органической фазы очищающим раствором с извлечением указанного первого редкоземельного элемента и получением очищенной органической фазы.

24. Способ по п. 23, отличающийся тем, что указанный очищающий раствор представляет собой кислый водный раствор, содержащий HCl в концентрации от примерно 2 до примерно 12 моль/л.

25. Способ по п. 23, отличающийся тем, что указанный очищающий раствор применяют при соотношении очищающего раствора : насыщенной органической фазы примерно 1:1.

26. Способ по п. 23, дополнительно включающий реэкстракцию указанной очищенной органической фазы раствором для реэкстракции с извлечением указанного первого редкого металла.

27. Способ по п. 26, отличающийся тем, что указанный раствор для реэкстракции представляет собой воду.

28. Способ по п. 26 или 27, отличающийся тем, что указанный раствор для реэкстракции применяют при соотношении раствора для реэкстракции : насыщенной органической фазы примерно 1:2.

29. Способ п. 1 или 2, отличающийся тем, что указанную композицию, имеющую пониженное содержание указанного по меньшей мере одного иона железа, подвергают взаимодействию с указанным осаждающим агентом с получением жидкости, содержащей по меньшей мере один дополнительный редкоземельный элемент, и указанного осадка, содержащего указанный первый редкоземельный элемент и указанный первый редкий металл, причем дополнительно отделяют указанную жидкость от указанного осадка.

30. Способ по п. 29, отличающийся тем, что он дополнительно включает взаимодействие указанной жидкости с другим осаждающим агентом с получением другого осадка и извлечение указанного другого осадка.

31. Способ по п. 30, отличающийся тем, что указанную жидкость подвергают взаимодействию с указанным другим осаждающим агентом при pH от примерно 7,8 до примерно 8,2.

32. Способ по п. 30, отличающийся тем, что указанную жидкость подвергают взаимодействию с указанным другим осаждающим агентом при pH от примерно 7,9 до примерно 8,1.

33. Способ по любому из пп. 30-32, отличающийся тем, что указанную жидкость подвергают взаимодействию с указанным другим осаждающим агентом путем поддержания окислительно-восстановительного потенциала при примерно $E_h + 340$ мВ.

34. Способ по любому из пп. 30-32, отличающийся тем, что указанную жидкость подвергают взаимодействию с указанным другим осаждающим агентом путем поддержания окислительно-восстановительного потенциала при примерно $E_h + 380$ мВ.

35. Способ по любому из пп. 30-32, отличающийся тем, что указанную жидкость подвергают взаимодействию с указанным другим осаждающим агентом путем поддержания температуры от примерно 50 до примерно 70°C.

36. Способ по любому из пп. 30-32, отличающийся тем, что указанный другой осаждающий агент выбран из NaOH, MgO, CaCO₃ и их смесей.

37. Способ по любому из пп. 30-32, отличающийся тем, что указанный другой осаждающий агент представляет собой CaCO₃.

38. Способ по любому из пп. 30-32, отличающийся тем, что он дополнительно включает выщелачивание указанного другого осадка и получение раствора выщелачивания, содержащего второй редкоземельный элемент.

39. Способ по п. 38, отличающийся тем, что указанный другой осадок выщелачивают HCl.

40. Способ по п. 38, отличающийся тем, что указанный раствор выщелачивания, содержащий указанный второй редкоземельный элемент, экстрагируют экстрагирующим агентом с по существу селективной экстракцией указанного второго редкоземельного элемента и получением насыщенной органической фазы, содержащей указанный второй

редкоземельный элемент, и водной фазы, содержащей по меньшей мере один легкий редкоземельный элемент.

41. Способ по п. 40, отличающийся тем, что указанный экстрагирующий агент представляет собой ди(этилгексил)фосфоновую кислоту.

5 42. Способ по п. 40, отличающийся тем, что указанный экстрагирующий агент представляет собой ди(этилгексил)фосфоновую кислоту в керосине.

43. Способ по любому из пп. 40-42, отличающийся тем, что он дополнительно включает по меньшей мере частичное удаление третьего редкоземельного элемента из указанной насыщенной органической фазы, содержащей указанный второй
10 редкоземельный элемент.

44. Способ по любому из пп. 40-42, отличающийся тем, что он дополнительно включает по меньшей мере частичное удаление третьего редкоземельного элемента из указанной насыщенной органической фазы, содержащей указанный второй редкоземельный элемент, путем обработки указанной насыщенной органической фазы
15 кислым очищающим раствором.

45. Способ по п. 44, отличающийся тем, что указанный очищающий раствор содержит 1 N HCl.

46. Способ по п. 45, отличающийся тем, что указанный третий редкоземельный элемент представляет собой церий.

20 47. Способ по п. 44, отличающийся тем, что он дополнительно включает обработку указанной насыщенной органической фазы, содержащей указанный второй редкоземельный элемент, кислым раствором для реэкстракции с получением раствора реэкстракции, содержащего указанный второй редкоземельный элемент, и извлечение указанного раствора реэкстракции.

25 48. Способ по п. 47, отличающийся тем, что указанный раствор реэкстракции содержит 3,5 N HCl.

49. Способ по п. 47 или 48, отличающийся тем, что он включает обработку указанного раствора реэкстракции, содержащего указанный второй редкоземельный элемент, экстрагирующим агентом с по существу селективной экстракцией четвертого
30 редкоземельного элемента и необязательно пятого редкоземельного элемента из указанного раствора реэкстракции и получение рафината, содержащего указанный второй редкоземельный элемент.

50. Способ по п. 49, отличающийся тем, что указанный экстрагирующий агент представляет собой трибутилфосфат.

35 51. Способ по п. 49, отличающийся тем, что указанный экстрагирующий агент представляет собой трибутилфосфат в керосине.

52. Способ по п. 49, отличающийся тем, что указанный четвертый редкоземельный элемент представляет собой диспрозий.

40 53. Способ по п. 49, отличающийся тем, что указанный пятый редкоземельный элемент представляет собой эрбий.

54. Способ по п. 49, отличающийся тем, что он дополнительно включает взаимодействие органической фазы, содержащей указанный четвертый редкоземельный элемент и необязательно указанный пятый редкоземельный элемент, с раствором для реэкстракции с получением раствора реэкстракции, содержащего указанный четвертый
45 редкоземельный элемент и необязательно указанный пятый редкоземельный элемент.

55. Способ по п. 54, отличающийся тем, что указанный раствор для реэкстракции представляет собой воду.

56. Способ по п. 40, отличающийся тем, что указанный второй редкоземельный

элемент представляет собой иттрий.

57. Способ по п. 38, отличающийся тем, что указанный раствор выщелачивания, содержащий указанный второй редкоземельный элемент, экстрагируют экстрагирующим агентом с по существу селективной экстракцией указанного второго редкоземельного элемента и получением насыщенной органической фазы, содержащей указанный второй редкоземельный элемент и рафинат, содержащий по меньшей мере один легкий редкоземельный элемент.

58. Способ по п. 57, отличающийся тем, что указанный экстрагирующий агент представляет собой ди(этилгексил)фосфоновую кислоту или ди-(2-этилгексил) ортофосфорную кислоту.

59. Способ по п. 57, дополнительно включающий по меньшей мере частичное удаление третьего редкоземельного элемента из указанной насыщенной органической фазы, содержащей указанный второй редкоземельный элемент.

60. Способ по п. 57, отличающийся тем, что он дополнительно включает по меньшей мере частичное удаление третьего редкоземельного элемента из указанной насыщенной органической фазы, содержащей указанный второй редкоземельный элемент, путем обработки указанной насыщенной органической фазы кислым очищающим раствором.

61. Способ по п. 60, отличающийся тем, что указанный очищающий раствор содержит от примерно 1 N до примерно 2 N HCl.

62. Способ по п. 60 или 21, отличающийся тем, что он дополнительно включает обработку указанной насыщенной органической фазы, содержащей указанный второй редкоземельный элемент, раствором для реэкстракции с получением раствора реэкстракции, содержащего указанный второй редкоземельный элемент.

63. Способ по п. 62, отличающийся тем, что указанный раствор для реэкстракции содержит от примерно 3 M до примерно 4 M HCl.

64. Способ по п. 62, отличающийся тем, что указанный раствор реэкстракции, содержащий указанный второй редкоземельный элемент, экстрагируют экстрагирующим агентом с удалением четвертого редкоземельного элемента и необязательно пятого редкоземельного элемента с получением рафината, содержащего указанный второй редкоземельный элемент, и насыщенной органической фазы, содержащей указанный четвертый редкоземельный элемент и необязательно указанный пятый редкоземельный элемент.

65. Способ по п. 64, отличающийся тем, что указанный экстрагирующий агент представляет собой трибутилфосфат.

66. Способ по п. 64, отличающийся тем, что указанный экстрагирующий агент представляет собой трибутилфосфат в керосине.

67. Способ по п. 64, включающий извлечение указанного рафината, содержащего указанный второй редкоземельный элемент.

68. Способ по п. 64, отличающийся тем, что указанный второй редкоземельный элемент представляет собой иттрий.

69. Способ по п. 64, отличающийся тем, что указанный четвертый редкоземельный элемент представляет собой диспрозий.

70. Способ по п. 64, отличающийся тем, что указанный пятый редкоземельный элемент представляет собой эрбий.

71. Способ по п. 64, отличающийся тем, что он дополнительно включает взаимодействие указанной насыщенной органической фазы, содержащей указанный четвертый редкоземельный элемент и указанный пятый редкоземельный элемент, с раствором для реэкстракции с получением раствора реэкстракции, содержащего

указанный четвертый редкоземельный элемент и указанный пятый редкоземельный элемент.

72. Способ по п. 71, отличающийся тем, что указанный раствор для реэкстракции представляет собой воду.

5 73. Способ по п. 71 или 72, отличающийся тем, что он дополнительно включает взаимодействие указанного раствора реэкстракции с экстрагирующим агентом с по существу селективной экстракцией указанного пятого редкоземельного элемента из
указанной раствора реэкстракции с получением рафината, содержащего указанный
10 четвертый редкоземельный элемент, и насыщенной органической фазы, содержащей
указанный пятый редкоземельный элемент.

74. Способ по п. 73, отличающийся тем, что указанный экстрагирующий агент представляет собой ди(этилгексил)фосфоновую кислоту или ди-(2-этилгексил) ортофосфорную кислоту.

75. Способ по п. 73, отличающийся тем, что дополнительно включает отделение
15 указанного рафината от указанной насыщенной органической фазы, содержащей
указанный пятый редкоземельный элемент, обработку указанной насыщенной
органической фазы очищающим раствором с удалением из нее примесей и затем
обработку указанной насыщенной органической фазы раствором для реэкстракции с
получением раствора реэкстракции, содержащего указанный пятый редкоземельный
20 элемент.

76. Способ по п. 75, отличающийся тем, что указанный очищающий раствор содержит от примерно 2 М до примерно 4 М HCl.

77. Способ по п. 75 или 76, отличающийся тем, что указанный раствор для реэкстракции содержит от примерно 3 М до примерно 4 М HCl.

25 78. Способ по п. 57, отличающийся тем, что указанный рафинат подвергают взаимодействию с окисляющим агентом с окислением указанного третьего редкоземельного элемента.

79. Способ по п. 78, отличающийся тем, что указанный окисляющий агент содержит гипохлорит натрия.

30 80. Способ по п. 78 или 79, отличающийся тем, что указанный рафинат подвергают взаимодействию с окисляющим агентом при pH от примерно 0,5 до примерно 1,5.

81. Способ по п. 78, отличающийся тем, что он дополнительно включает удаление из указанного рафината окисленного третьего редкоземельного элемента в форме осадка с получением фильтрата, содержащего шестой редкоземельный элемент.

35 82. Способ по п. 81, отличающийся тем, что он дополнительно включает взаимодействие указанного фильтрата с экстрагирующим агентом с по существу селективной экстракцией указанного шестого редкоземельного элемента из указанного
фильтрата с получением насыщенной органической фазы, содержащей указанный
шестой редкоземельный элемент, и другого рафината, содержащего седьмой
40 редкоземельный элемент и восьмой редкоземельный элемент, и отделение указанной
насыщенной органической фазы, содержащей указанный шестой редкоземельный
элемент, от указанного рафината.

83. Способ по п. 82, отличающийся тем, что указанный экстрагирующий агент представляет собой ди(этилгексил)фосфоновую кислоту или ди-(2-этилгексил)
45 ортофосфорную кислоту.

84. Способ по п. 82, отличающийся тем, что он дополнительно включает обработку указанной насыщенной органической фазы очищающим раствором с удалением из нее примесей и затем обработку указанной насыщенной органической фазы раствором

для реэкстракции с получением раствора реэкстракции, содержащего указанный шестой редкоземельный элемент.

85. Способ по п. 84, отличающийся тем, что указанный очищающий раствор содержит от примерно 0,5 М до примерно 1,5 М HCl.

5 86. Способ по п. 84, отличающийся тем, что указанный раствор для реэкстракции содержит от примерно 2 М до примерно 3 М HCl.

87. Способ по любому из пп. 82-86, отличающийся тем, что указанный шестой редкоземельный элемент представляет собой европий.

10 88. Способ по любому из пп. 82-86, отличающийся тем, что указанный седьмой редкоземельный элемент представляет собой празеодим.

89. Способ по любому из пп. 82-86, отличающийся тем, что указанный восьмой редкоземельный элемент представляет собой неодим.

90. Способ по любому из пп. 82-86, дополнительно включающий восстановление указанного шестого редкоземельного элемента с помощью восстанавливающего агента.

15 91. Способ по п. 90, отличающийся тем, что указанный восстанавливающий агент представляет собой цинк(0).

92. Способ по любому из пп. 82-86, дополнительно включающий взаимодействие указанного шестого редкоземельного элемента с сульфатом натрия с получением его сульфатного производного в форме осадка и извлечение указанного осадка.

20 93. Способ по любому из пп. 82-86, отличающийся тем, что он дополнительно включает взаимодействие указанного рафината, содержащего указанный седьмой редкоземельный элемент и указанный восьмой редкоземельный элемент, с экстрагирующим агентом с по существу селективной экстракцией указанного восьмого редкоземельного элемента из указанного рафината с получением насыщенной органической фазы, содержащей указанный восьмой редкоземельный элемент, и рафината, содержащего указанный седьмой редкоземельный элемент, и отделение указанной насыщенной органической фазы, содержащей указанный восьмой редкоземельный элемент, от указанного рафината.

25 94. Способ по п. 93, отличающийся тем, что указанный экстрагирующий агент представляет собой ди(этилгексил)фосфоновую кислоту или ди-(2-этилгексил) ортофосфорную кислоту.

95. Способ по п. 93, отличающийся тем, что он дополнительно включает обработку указанной насыщенной органической фазы очищающим раствором с удалением из нее примесей и затем обработку указанной насыщенной органической фазы раствором для реэкстракции с получением раствора реэкстракции, содержащего указанный восьмой редкоземельный элемент.

96. Способ по п. 95, отличающийся тем, что указанный очищающий раствор содержит от примерно 2 М до примерно 3 М HCl.

40 97. Способ по п. 95, отличающийся тем, что указанный раствор для реэкстракции содержит от примерно 3 М до примерно 4 М HCl.

98. Способ извлечения по меньшей мере одного редкоземельного элемента из материала, содержащего редкоземельные элементы, включающий:

получение из указанного материала кислой композиции, содержащей (i) по меньшей мере один редкоземельный элемент и по меньшей мере один редкий металл, и взаимодействие указанной композиции с осаждающим агентом с по существу селективным осаждением первого редкоземельного элемента и первого редкого металла, который представляет собой галлий.

99. Способ по п. 98, отличающийся тем, что указанный первый редкоземельный

элемент представляет собой скандий.

100. Способ по п. 98, отличающийся тем, что указанная кислая композиция содержит галлий и по меньшей мере один другой редкий металл.

101. Способ по п. 100, отличающийся тем, что он включает взаимодействие указанной композиции с указанным осаждающим агентом с по существу селективным осаждением указанного первого редкоземельного элемента, указанного первого редкого металла и указанного другого редкого металла.

102. Способ по любому из пп. 98-101, отличающийся тем, что указанный осаждающий агент выбран из NaOH, MgO, CaCO₃ и их смесей.

103. Способ по п. 102, отличающийся тем, что указанный осаждающий агент представляет собой MgO.

104. Способ по любому из пп. 98-101, отличающийся тем, что указанный осаждающий агент представляет собой CaCO₃.

105. Способ по любому из пп. 98-101, отличающийся тем, что указанный первый редкоземельный элемент и указанный первый редкий металл по существу селективно осаждают путем поддержания значения pH ниже 2.

106. Способ по любому из пп. 98-101, отличающийся тем, что указанный первый редкоземельный элемент и указанный первый редкий металл по существу селективно осаждают путем поддержания значения pH от примерно 1 до примерно 2.

107. Способ по любому из пп. 98-101, отличающийся тем, что указанный первый редкоземельный элемент и указанный первый редкий металл по существу селективно осаждают путем поддержания окислительно-восстановительного потенциала примерно E_h +380 мВ.

108. Способ по любому из пп. 98-101, отличающийся тем, что он включает взаимодействие указанной композиции с указанным осаждающим агентом с по существу селективным осаждением первого редкоземельного элемента и первого редкого металла, содержащихся в образованном таким образом осадке, и извлечение указанного осадка.

109. Способ по п. 108, отличающийся тем, что он дополнительно включает выщелачивание указанного осадка и получение раствора выщелачивания.

110. Способ по п. 109, отличающийся тем, что указанный осадок выщелачивают HCl.

111. Способ по п. 110, отличающийся тем, что указанная HCl имеет концентрацию от примерно 5 до примерно 15 моль/л.

112. Способ по любому из пп. 109-111, отличающийся тем, что указанный раствор выщелачивания дополнительно экстрагируют экстрагирующим агентом с по существу селективной экстракцией указанного первого редкоземельного элемента и указанного первого редкого металла и получением насыщенной органической фазы.

113. Способ по п. 112, отличающийся тем, что указанный экстрагирующий агент представляет собой трибутилфосфат.

114. Способ по п. 112, отличающийся тем, что указанный экстрагирующий агент представляет собой трибутилфосфат в керосине.

115. Способ по п. 112, отличающийся тем, что указанный экстрагирующий агент представляет собой трибутилфосфат в керосине и в присутствии изодеканола.

116. Способ по п. 112, отличающийся тем, что он дополнительно включает очистку указанной насыщенной органической фазы очищающим раствором с извлечением указанного первого редкоземельного элемента и получением очищенной органической фазы.

117. Способ по п. 116, отличающийся тем, что указанный очищающий раствор

представляет собой кислый водный раствор, содержащий HCl в концентрации от примерно 2 до примерно 12 моль/л.

118. Способ по п. 116, отличающийся тем, что указанный очищающий раствор применяют при соотношении очищающего раствора : насыщенной органической фазы примерно 1:1.

119. Способ по любому из пп. 116-118, отличающийся тем, что он дополнительно включает реэкстракцию указанной очищенной органической фазы раствором для реэкстракции с извлечением указанного первого редкого металла.

120. Способ по п. 119, отличающийся тем, что указанный раствор для реэкстракции представляет собой воду.

121. Способ по п. 119, отличающийся тем, что указанный раствор для реэкстракции применяют при соотношении раствора для реэкстракции : насыщенной органической фазы примерно 1:2.

122. Способ по п. 109, отличающийся тем, что указанную композицию подвергают взаимодействию с указанным осаждающим агентом с получением жидкости, содержащей по меньшей мере один дополнительный редкоземельный элемент, и указанного осадка, содержащего указанный первый редкоземельный элемент и указанный первый редкий металл, при этом дополнительно отделяют указанную жидкость от указанного осадка.

123. Способ по п. 122, отличающийся тем, что он дополнительно включает взаимодействие указанной жидкости с другим осаждающим агентом с получением другого осадка и извлечение указанного другого осадка.

124. Способ по п. 123, отличающийся тем, что указанную жидкость подвергают взаимодействию с указанным другим осаждающим агентом при pH от примерно 7,8 до примерно 8,2.

125. Способ по п. 123, отличающийся тем, что указанную жидкость подвергают взаимодействию с указанным другим осаждающим агентом при pH от примерно 7,9 до примерно 8,1.

126. Способ по любому из пп. 123-125, отличающийся тем, что указанную жидкость подвергают взаимодействию с указанным другим осаждающим агентом путем поддержания окислительно-восстановительного потенциала при примерно Eh +340 мВ.

127. Способ по любому из пп. 123-125, отличающийся тем, что указанную жидкость подвергают взаимодействию с указанным другим осаждающим агентом путем поддержания окислительно-восстановительного потенциала при примерно Eh +380 мВ.

128. Способ по любому из пп. 123-125, отличающийся тем, что указанную жидкость подвергают взаимодействию с указанным другим осаждающим агентом путем поддержания температуры от примерно 50 до примерно 70°C.

129. Способ по любому из пп. 123-125, отличающийся тем, что указанный другой осаждающий агент выбран из NaOH, MgO, CaCO₃ и их смесей.

130. Способ по любому из пп. 123-125, отличающийся тем, что указанный другой осаждающий агент представляет собой CaCO₃.

131. Способ по любому из пп. 123-125, отличающийся тем, что он дополнительно включает выщелачивание указанного другого осадка и получение раствора выщелачивания, содержащего второй редкоземельный элемент.

132. Способ по п. 131, отличающийся тем, что указанный другой осадок выщелачивают HCl.

133. Способ по п. 131, отличающийся тем, что указанный раствор выщелачивания, содержащий указанный второй редкоземельный элемент, экстрагируют экстрагирующим агентом с по существу селективной экстракцией указанного второго редкоземельного

элемента и получением насыщенной органической фазы, содержащей указанный второй редкоземельный элемент, и водной фазы, содержащей по меньшей мере один легкий редкоземельный элемент.

134. Способ по п. 133, отличающийся тем, что указанный экстрагирующий агент представляет собой ди(этилгексил)фосфоновую кислоту.

135. Способ по п. 133, отличающийся тем, что указанный экстрагирующий агент представляет собой ди(этилгексил)фосфоновую кислоту в керосине.

136. Способ по любому из пп. 133-135, отличающийся тем, что он дополнительно включает по меньшей мере частичное удаление третьего редкоземельного элемента из указанной насыщенной органической фазы, содержащей указанный второй редкоземельный элемент.

137. Способ по любому из пп. 133-135, отличающийся тем, что он дополнительно включает по меньшей мере частичное удаление третьего редкоземельного элемента из указанной насыщенной органической фазы, содержащей указанный второй редкоземельный элемент, путем обработки указанной насыщенной органической фазы кислым очищающим раствором.

138. Способ по п. 137, отличающийся тем, что указанный очищающий раствор содержит 1 N HCl.

139. Способ по п. 137, отличающийся тем, что указанный третий редкоземельный элемент представляет собой церий.

140. Способ по п. 137, отличающийся тем, что он дополнительно включает обработку указанной насыщенной органической фазы, содержащей указанный второй редкоземельный элемент, кислым раствором для реэкстракции с получением раствора реэкстракции, содержащего указанный второй редкоземельный элемент, и извлечение указанного раствора реэкстракции.

141. Способ по п. 140, отличающийся тем, что указанный раствор реэкстракции содержит 3,5 N HCl.

142. Способ по п. 140 или 141, отличающийся тем, что он включает обработку указанного раствора реэкстракции, содержащего указанный второй редкоземельный элемент, экстрагирующим агентом с по существу селективной экстракцией четвертого редкоземельного элемента и необязательно пятого редкоземельного элемента из указанного раствора реэкстракции и получение рафината, содержащего указанный второй редкоземельный элемент.

143. Способ по п. 142, отличающийся тем, что указанный экстрагирующий агент представляет собой трибутилфосфат.

144. Способ по п. 142, отличающийся тем, что указанный экстрагирующий агент представляет собой трибутилфосфат в керосине.

145. Способ по п. 142, отличающийся тем, что указанный четвертый редкоземельный элемент представляет собой диспрозий.

146. Способ по п. 142, отличающийся тем, что указанный пятый редкоземельный элемент представляет собой эрбий.

147. Способ по п. 142, отличающийся тем, что он дополнительно включает взаимодействие органической фазы, содержащей указанный четвертый редкоземельный элемент и необязательно указанный пятый редкоземельный элемент, с раствором для реэкстракции с получением раствора реэкстракции, содержащего указанный четвертый редкоземельный элемент и необязательно указанный пятый редкоземельный элемент.

148. Способ по п. 147, отличающийся тем, что указанный раствор для реэкстракции представляет собой воду.

149. Способ по п. 133, отличающийся тем, что указанный второй редкоземельный элемент представляет собой иттрий.

150. Способ по п. 131, отличающийся тем, что указанный раствор выщелачивания, содержащий указанный второй редкоземельный элемент, экстрагируют экстрагирующим агентом с по существу селективной экстракцией указанного второго редкоземельного элемента и получением насыщенной органической фазы, содержащей указанный второй редкоземельный элемент, и рафината, содержащего по меньшей мере один легкий редкоземельный элемент.

151. Способ по п. 150, отличающийся тем, что указанный экстрагирующий агент представляет собой ди(этилгексил)фосфоновую кислоту или ди-(2-этилгексил) ортофосфорную кислоту.

152. Способ по п. 150 или 151, отличающийся тем, что дополнительно включает по меньшей мере частичное удаление третьего редкоземельного элемента из указанной насыщенной органической фазы, содержащей указанный второй редкоземельный элемент.

153. Способ по п. 150 или 151, отличающийся тем, что он дополнительно включает по меньшей мере частичное удаление третьего редкоземельного элемента из указанной насыщенной органической фазы, содержащей указанный второй редкоземельный элемент, путем обработки указанной насыщенной органической фазы кислым очищающим раствором.

154. Способ по п. 153, отличающийся тем, что указанный очищающий раствор содержит от примерно 1 N до примерно 2 N HCl.

155. Способ по п. 153, отличающийся тем, что он дополнительно включает обработку указанной насыщенной органической фазы, содержащей указанный второй редкоземельный элемент, раствором для реэкстракции с получением раствора реэкстракции, содержащего указанный второй редкоземельный элемент.

156. Способ по п. 155, отличающийся тем, что указанный раствор для реэкстракции содержит от примерно 3 M до примерно 4 M HCl.

157. Способ по п. 155, отличающийся тем, что указанный раствор реэкстракции, содержащий указанный второй редкоземельный элемент, экстрагируют экстрагирующим агентом с удалением четвертого редкоземельного элемента и необязательно пятого редкоземельного элемента с получением рафината, содержащего указанный второй редкоземельный элемент, и насыщенной органической фазы, содержащей указанный четвертый редкоземельный элемент и необязательно указанный пятый редкоземельный элемент.

158. Способ по п. 157, отличающийся тем, что указанный экстрагирующий агент представляет собой трибутилфосфат.

159. Способ по п. 157, отличающийся тем, что указанный экстрагирующий агент представляет собой трибутилфосфат в керосине.

160. Способ по любому из пп. 157-159, отличающийся тем, что он включает извлечение указанного рафината, содержащего указанный второй редкоземельный элемент.

161. Способ по любому из пп. 157-159, отличающийся тем, что указанный второй редкоземельный элемент представляет собой иттрий.

162. Способ по любому из пп. 157-159, отличающийся тем, что указанный четвертый редкоземельный элемент представляет собой диспрозий.

163. Способ по любому из пп. 157-159, отличающийся тем, что указанный пятый редкоземельный элемент представляет собой эрбий.

164. Способ по любому из пп. 157-159, отличающийся тем, что он дополнительно

включает взаимодействие указанной насыщенной органической фазы, содержащей указанный четвертый редкоземельный элемент и указанный пятый редкоземельный элемент, с раствором для реэкстракции с получением раствора реэкстракции, содержащего указанный четвертый редкоземельный элемент и указанный пятый редкоземельный элемент.

165. Способ по п. 164, отличающийся тем, что указанный раствор для реэкстракции представляет собой воду.

166. Способ по п. 164, отличающийся тем, что он дополнительно включает взаимодействие указанного раствора реэкстракции с экстрагирующим агентом с по существу селективной экстракцией указанного пятого редкоземельного элемента из указанного раствора реэкстракции с получением рафината, содержащего указанный четвертый редкоземельный элемент, и насыщенной органической фазы, содержащей указанный пятый редкоземельный элемент.

167. Способ по п. 166, отличающийся тем, что указанный экстрагирующий агент представляет собой ди(этилгексил)фосфоновую кислоту или ди-(2-этилгексил)ортофосфорную кислоту.

168. Способ по п. 166, отличающийся тем, что он дополнительно включает отделение указанного рафината от указанной насыщенной органической фазы, содержащей указанный пятый редкоземельный элемент, обработку указанной насыщенной органической фазы очищающим раствором с удалением из нее примесей и затем обработку указанной насыщенной органической фазы раствором для реэкстракции с получением раствора реэкстракции, содержащего указанный пятый редкоземельный элемент.

169. Способ по п. 168, отличающийся тем, что указанный очищающий раствор содержит от примерно 2 М до примерно 4 М HCl.

170. Способ по п. 168 или 169, отличающийся тем, что указанный раствор для реэкстракции содержит от примерно 3 М до примерно 4 М HCl.

171. Способ по п. 150, отличающийся тем, что указанный рафинат подвергают взаимодействию с окисляющим агентом с окислением указанного третьего редкоземельного элемента.

172. Способ по п. 171, отличающийся тем, что указанный окисляющий агент содержит гипохлорит натрия.

173. Способ по п. 171 или 172, отличающийся тем, что указанный рафинат подвергают взаимодействию с окисляющим агентом при pH от примерно 0,5 до примерно 1,5.

174. Способ по п. 171, отличающийся тем, что он дополнительно включает удаление из указанного рафината окисленного третьего редкоземельного элемента в форме осадка с получением фильтрата, содержащего шестой редкоземельный элемент.

175. Способ по п. 174, отличающийся тем, что он дополнительно включает взаимодействие указанного фильтрата с экстрагирующим агентом с по существу селективной экстракцией указанного шестого редкоземельного элемента из указанного фильтрата с получением насыщенной органической фазы, содержащей указанный шестой редкоземельный элемент, и другого рафината, содержащего седьмой редкоземельный элемент и восьмой редкоземельный элемент, и отделение указанной насыщенной органической фазы, содержащей указанный шестой редкоземельный элемент, от указанного рафината.

176. Способ по п. 175, отличающийся тем, что указанный экстрагирующий агент представляет собой ди(этилгексил)фосфоновую кислоту или ди-(2-этилгексил)ортофосфорную кислоту.

177. Способ по п. 175, отличающийся тем, что он дополнительно включает обработку указанной насыщенной органической фазы очищающим раствором с удалением из нее примесей и затем обработку указанной насыщенной органической фазы раствором для рекстракции с получением раствора рекстракции, содержащего указанный шестой редкоземельный элемент.

178. Способ по п. 177, отличающийся тем, что указанный очищающий раствор содержит от примерно 0,5 М до примерно 1,5 М HCl.

179. Способ по п. 177, отличающийся тем, что указанный раствор для рекстракции содержит от примерно 2 М до примерно 3 М HCl.

180. Способ по любому из пп. 175-179, отличающийся тем, что указанный шестой редкоземельный элемент представляет собой европий.

181. Способ по любому из пп. 175-179, отличающийся тем, что указанный седьмой редкоземельный элемент представляет собой празеодим.

182. Способ по любому из пп. 175-179, отличающийся тем, что указанный восьмой редкоземельный элемент представляет собой неодим.

183. Способ по любому из пп. 175-179, отличающийся тем, что он дополнительно включает восстановление указанного шестого редкоземельного элемента с помощью восстанавливающего агента.

184. Способ по п. 183, отличающийся тем, что указанный восстанавливающий агент представляет собой цинк(0).

185. Способ по любому из пп. 175-179, отличающийся тем, что он дополнительно включает взаимодействие указанного шестого редкоземельного элемента с сульфатом натрия с получением его сульфатного производного в форме осадка и извлечение указанного осадка.

186. Способ по любому из пп. 175-179, отличающийся тем, что он дополнительно включает взаимодействие указанного рафината, содержащего указанный седьмой редкоземельный элемент и указанный восьмой редкоземельный элемент, с экстрагирующим агентом с по существу селективной экстракцией указанного восьмого редкоземельного элемента из указанного рафината с получением насыщенной органической фазы, содержащей указанный восьмой редкоземельный элемент, рафината, содержащего указанный седьмой редкоземельный элемент, и отделение указанной насыщенной органической фазы, содержащей указанный восьмой редкоземельный элемент, от указанного рафината.

187. Способ по п. 186, отличающийся тем, что указанный экстрагирующий агент представляет собой ди(этилгексил)фосфоновую кислоту или ди-(2-этилгексил) ортофосфорную кислоту.

188. Способ по п. 186, отличающийся тем, что он дополнительно включает обработку указанной насыщенной органической фазы очищающим раствором с удалением из нее примесей и затем обработку указанной насыщенной органической фазы раствором для рекстракции с получением раствора рекстракции, содержащего указанный восьмой редкоземельный элемент.

189. Способ по п. 188, отличающийся тем, что указанный очищающий раствор содержит от примерно 2 М до примерно 3 М HCl.

190. Способ по п. 188, отличающийся тем, что указанный раствор для рекстракции содержит от примерно 3 М до примерно 4 М HCl.

191. Способ по п. 98, отличающийся тем, что он дополнительно включает предварительную обработку или обработку указанной кислой композиции ионообменной смолой с удалением примесей.

192. Способ по п. 98, отличающийся тем, что он дополнительно включает обработку указанной кислой композиции ионообменной смолой с по меньшей мере частичным удалением из нее примесей.

193. Способ по п. 98, отличающийся тем, что он дополнительно включает обработку
5 указанного по меньшей мере одного редкоземельного элемента и необязательно указанного по меньшей мере одного редкого металла с помощью плазменной горелки с дополнительной очисткой указанного по меньшей мере одного редкоземельного элемента и необязательно указанного по меньшей мере одного редкого металла.

194. Способ извлечения по меньшей мере одного редкоземельного элемента из
10 материала, содержащего редкоземельные элементы, включающий:

получение из указанного материала кислой композиции, содержащей (i) по меньшей мере один редкоземельный элемент и по меньшей мере один редкий металл; и (ii) по меньшей мере один ион металла,

по меньшей мере частичное удаление из указанной кислой композиции указанного
15 по меньшей мере одного иона металла с помощью экстрагирующего агента, ионообменной смолы и/или путем взаимодействия указанной композиции с восстанавливающим агентом с получением композиции, имеющей пониженное содержание указанного по меньшей мере одного иона металла, и

взаимодействие указанной композиции, имеющей указанное пониженное содержание
20 указанного по меньшей мере одного иона металла, с осаждающим агентом с по существу селективным осаждением первого редкоземельного элемента и первого редкого металла.

195. Способ по п. 194, отличающийся тем, что указанный экстрагирующий агент выбран из трибутилфосфата, ди-2-этилгексилортофосфорной кислоты (HDEHP), бис
(2,4,4-триметилпентил)фосфиновой кислоты и моно-2-этилгексилового эфира 2-
25 этилгексилфосфоновой кислоты).

196. Способ по п. 194, отличающийся тем, что указанный экстрагирующий агент выбран из ди-2-этилгексилортофосфорной кислоты (HDEHP), бис(2,4,4-триметилпентил) фосфиновой кислоты и моно-2-этилгексилового эфира 2-этилгексилфосфоновой
кислоты).

197. Способ по п. 194, отличающийся тем, что указанный экстрагирующий агент
30 представляет собой трибутилфосфат.

198. Способ по п. 194, отличающийся тем, что указанный экстрагирующий агент представляет собой трибутилфосфат в керосине.

199. Способ по любому из пп. 194-198, отличающийся тем, что указанный по меньшей
35 мере один ион металла содержит по меньшей мере один ион алюминия, по меньшей мере один ион цинка, по меньшей мере один ион меди, по меньшей мере один ион никеля, по меньшей мере один ион магния, по меньшей мере один ион титана и/или по меньшей мере один ион железа.

200. Способ по любому из пп. 194-198, отличающийся тем, что указанный первый
40 редкоземельный элемент представляет собой скандий.

201. Способ по любому из пп. 194-198, отличающийся тем, что указанная кислая композиция содержит по меньшей мере два редких металла.

202. Способ по п. 201, отличающийся тем, что он включает взаимодействие указанной
45 композиции, имеющей указанное пониженное содержание указанного по меньшей мере одного иона металла, с указанным осаждающим агентом с по существу селективным осаждением указанного первого редкоземельного элемента и указанных по меньшей мере двух редких металлов.

203. Способ по любому из пп. 194-198, отличающийся тем, что указанный первый

редкий металл представляет собой галлий.

204. Способ по любому из пп. 194-198, отличающийся тем, что указанный осаждающий агент выбран из NaOH, MgO, CaCO₃ и их смесей.

5 205. Способ по любому из пп. 194-198, отличающийся тем, что указанный осаждающий агент представляет собой CaCO₃.

206. Способ по любому из пп. 194-198, отличающийся тем, что указанный первый редкоземельный элемент и необязательно указанный первый редкий металл по существу селективно осаждают путем поддержания значения pH ниже 2.

10 207. Способ по любому из пп. 194-198, отличающийся тем, что указанный первый редкоземельный элемент и необязательно указанный первый редкий металл по существу селективно осаждают путем поддержания значения pH от примерно 1 до примерно 2.

208. Способ по любому из пп. 194-198, отличающийся тем, что указанный первый редкоземельный элемент и необязательно указанный первый редкий металл по существу селективно осаждают путем поддержания окислительно-восстановительного потенциала
15 примерно Eh +380 мВ.

209. Способ по любому из пп. 194-198, отличающийся тем, что он включает взаимодействие указанной композиции, имеющей пониженное содержание указанного по меньшей мере одного иона металла, с указанным осаждающим агентом с по существу селективным осаждением первого редкоземельного элемента и первого редкого металла,
20 содержащихся в образованном таким образом осадке, и извлечение указанного осадка.

210. Способ по п. 209, дополнительно включающий выщелачивание указанного осадка и получение раствора выщелачивания.

211. Способ по п. 210, отличающийся тем, что указанный осадок выщелачивают HCl.
25

212. Способ по п. 210 или 211, отличающийся тем, что указанный раствор выщелачивания дополнительно экстрагируют экстрагирующим агентом с по существу селективной экстракцией указанного первого редкоземельного элемента и указанного первого редкого металла и получением насыщенной органической фазы.

30 213. Способ по п. 212, отличающийся тем, что указанный экстрагирующий агент представляет собой трибутилфосфат.

214. Способ по п. 212, отличающийся тем, что указанный экстрагирующий агент представляет собой трибутилфосфат в керосине.

215. Способ по п. 212, отличающийся тем, что указанный экстрагирующий агент представляет собой трибутилфосфат в керосине и в присутствии изодеканола.
35

216. Способ по любому из пп. 213-215, отличающийся тем, что он дополнительно включает очистку указанной насыщенной органической фазы очищающим раствором с извлечением указанного первого редкоземельного элемента и получением очищенной органической фазы.

40 217. Способ по п. 216, отличающийся тем, что указанный очищающий раствор представляет собой кислый водный раствор, содержащий HCl в концентрации от примерно 2 до примерно 12 моль/л.

218. Способ по п. 216, отличающийся тем, что указанный очищающий раствор применяют при соотношении очищающего раствора : насыщенной органической фазы примерно 1:1.

45 219. Способ по п. 216, отличающийся тем, что он дополнительно включает реэкстракцию указанной очищенной органической фазы раствором для реэкстракции с извлечением указанного первого редкого металла.

220. Способ по п. 219, отличающийся тем, что указанный раствор для реэкстракции

представляет собой воду.

221. Способ по п. 219 или 220, отличающийся тем, что указанный раствор для резкстракции применяют при соотношении раствора для резкстракции : насыщенной органической фазы примерно 1:2.

5 222. Способ по п. 194, отличающийся тем, что указанную композицию, имеющую пониженное содержание указанного по меньшей мере одного иона металла, подвергают взаимодействию с указанным осаждающим агентом с получением жидкости, содержащей по меньшей мере один дополнительный редкоземельный элемент, и указанного осадка, содержащего указанный первый редкоземельный элемент и указанный первый редкий
10 металл, при этом дополнительно отделяют указанную жидкость от указанного осадка.

223. Способ по п. 222, отличающийся тем, что он дополнительно включает взаимодействие указанной жидкости с другим осаждающим агентом с получением другого осадка и извлечение указанного другого осадка.

15 224. Способ по п. 223, отличающийся тем, что указанную жидкость подвергают взаимодействию с указанным другим осаждающим агентом при pH от примерно 7,8 до примерно 8,2.

225. Способ по п. 223, отличающийся тем, что указанную жидкость подвергают взаимодействию с указанным другим осаждающим агентом при pH от примерно 7,9 до примерно 8,1.

20 226. Способ по любому из пп. 223-225, отличающийся тем, что указанную жидкость подвергают взаимодействию с указанным другим осаждающим агентом путем поддержания окислительно-восстановительного потенциала при примерно E_h +340 мВ.

227. Способ по любому из пп. 223-225, отличающийся тем, что указанную жидкость подвергают взаимодействию с указанным другим осаждающим агентом путем
25 поддержания окислительно-восстановительного потенциала при примерно E_h +380 мВ.

228. Способ по любому из пп. 223-225, отличающийся тем, что указанную жидкость подвергают взаимодействию с указанным другим осаждающим агентом путем поддержания температуры от примерно 50 до примерно 70°C.

30 229. Способ по любому из пп. 223-225, отличающийся тем, что указанный другой осаждающий агент выбран из NaOH, MgO, CaCO₃ и их смесей.

230. Способ по любому из пп. 223-225, отличающийся тем, что указанный осаждающий агент представляет собой CaCO₃.

35 231. Способ по любому из пп. 223-225, отличающийся тем, что он дополнительно включает выщелачивание указанного другого осадка и получение раствора выщелачивания, содержащего второй редкоземельный элемент.

232. Способ по п. 231, отличающийся тем, что указанный другой осадок выщелачивают HCl.

40 233. Способ по п. 231, отличающийся тем, что указанный раствор выщелачивания, содержащий указанный второй редкоземельный элемент, экстрагируют экстрагирующим агентом с по существу селективной экстракцией указанного второго редкоземельного элемента и получением насыщенной органической фазы, содержащей указанный второй редкоземельный элемент, и водной фазы, содержащей по меньшей мере один легкий редкоземельный элемент.

45 234. Способ по п. 233, отличающийся тем, что указанный экстрагирующий агент представляет собой ди(этилгексил)фосфоновую кислоту.

235. Способ по п. 233, отличающийся тем, что указанный экстрагирующий агент представляет собой ди(этилгексил)фосфоновую кислоту в керосине.

236. Способ по любому из пп. 233-235, отличающийся тем, что он дополнительно

включает по меньшей мере частичное удаление третьего редкоземельного элемента из указанной насыщенной органической фазы, содержащей указанный второй редкоземельный элемент.

237. Способ по любому из пп. 233-235, отличающийся тем, что он дополнительно
5 включает по меньшей мере частичное удаление третьего редкоземельного элемента из указанной насыщенной органической фазы, содержащей указанный второй редкоземельный элемент, путем обработки указанной насыщенной органической фазы кислым очищающим раствором.

238. Способ по п. 237, отличающийся тем, что указанный очищающий раствор
10 содержит 1 N HCl.

239. Способ по п. 237, отличающийся тем, что указанный третий редкоземельный элемент представляет собой церий.

240. Способ по п. 237, отличающийся тем, что он дополнительно включает обработку
15 указанной насыщенной органической фазы, содержащей указанный второй редкоземельный элемент, кислым раствором для рекстракции с получением раствора рекстракции, содержащего указанный второй редкоземельный элемент, и извлечение указанного раствора рекстракции.

241. Способ по п. 240, отличающийся тем, что указанный раствор рекстракции содержит 3,5 N HCl.

242. Способ по п. 240, отличающийся тем, что он включает обработку указанного
20 раствора рекстракции, содержащего указанный второй редкоземельный элемент, экстрагирующим агентом с по существу селективной экстракцией четвертого редкоземельного элемента и необязательно пятого редкоземельного элемента из указанного раствора рекстракции и получение рафината, содержащего указанный
25 второй редкоземельный элемент.

243. Способ по п. 242, отличающийся тем, что указанный экстрагирующий агент представляет собой трибутилфосфат.

244. Способ по п. 242, отличающийся тем, что указанный экстрагирующий агент представляет собой трибутилфосфат в керосине.

245. Способ по любому из пп. 242-244, отличающийся тем, что указанный четвертый
30 редкоземельный элемент представляет собой диспрозий.

246. Способ по любому из пп. 242-244, отличающийся тем, что указанный пятый редкоземельный элемент представляет собой эрбий.

247. Способ по любому из пп. 242-244, отличающийся тем, что он дополнительно
35 включает взаимодействие органической фазы, содержащей указанный четвертый редкоземельный элемент и необязательно указанный пятый редкоземельный элемент, с раствором для рекстракции с получением раствора рекстракции, содержащего указанный четвертый редкоземельный элемент и необязательно указанный пятый редкоземельный элемент.

248. Способ по п. 247, отличающийся тем, что указанный раствор для рекстракции
40 представляет собой воду.

249. Способ по п. 233, отличающийся тем, что указанный второй редкоземельный элемент представляет собой иттрий.

250. Способ по п. 231, отличающийся тем, что указанный раствор выщелачивания,
45 содержащий указанный второй редкоземельный элемент, экстрагируют экстрагирующим агентом с по существу селективной экстракцией указанного второго редкоземельного элемента и получением насыщенной органической фазы, содержащей указанный второй редкоземельный элемент, и рафината, содержащего по меньшей мере один легкий

редкоземельный элемент.

251. Способ по п. 250, отличающийся тем, что указанный экстрагирующий агент представляет собой ди(этилгексил)фосфоновую кислоту или ди-(2-этилгексил) ортофосфорную кислоту.

5 252. Способ по п. 250, отличающийся тем, что он дополнительно включает по меньшей мере частичное удаление третьего редкоземельного элемента из указанной насыщенной органической фазы, содержащей указанный второй редкоземельный элемент.

10 253. Способ по любому из пп. 250-252, отличающийся тем, что он дополнительно включает по меньшей мере частичное удаление третьего редкоземельного элемента из указанной насыщенной органической фазы, содержащей указанный второй редкоземельный элемент, путем обработки указанной насыщенной органической фазы кислым очищающим раствором.

15 254. Способ по п. 253, отличающийся тем, что указанный очищающий раствор содержит от примерно 1 N до примерно 2 N HCl.

255. Способ по п. 253, отличающийся тем, что он дополнительно включает обработку указанной насыщенной органической фазы, содержащей указанный второй редкоземельный элемент, раствором для реэкстракции с получением раствора реэкстракции, содержащего указанный второй редкоземельный элемент.

20 256. Способ по п. 255, отличающийся тем, что указанный раствор для реэкстракции содержит от примерно 3 M до примерно 4 M HCl.

257. Способ по п. 255, отличающийся тем, что указанный раствор реэкстракции, содержащий указанный второй редкоземельный элемент, экстрагируют экстрагирующим агентом с удалением четвертого редкоземельного элемента и необязательно пятого редкоземельного элемента с получением рафината, содержащего указанный второй редкоземельный элемент, и насыщенной органической фазы, содержащей указанный четвертый редкоземельный элемент и необязательно указанный пятый редкоземельный элемент.

258. Способ по п. 257, отличающийся тем, что указанный экстрагирующий агент представляет собой трибутилфосфат.

259. Способ по п. 257, отличающийся тем, что указанный экстрагирующий агент представляет собой трибутилфосфат в керосине.

260. Способ по любому из пп. 257-259, отличающийся тем, что он включает извлечение указанного рафината, содержащего указанный второй редкоземельный элемент.

35 261. Способ по любому из пп. 257-259, отличающийся тем, что указанный второй редкоземельный элемент представляет собой иттрий.

262. Способ по любому из пп. 257-259, отличающийся тем, что указанный четвертый редкоземельный элемент представляет собой диспрозий.

40 263. Способ по любому из пп. 257-259, отличающийся тем, что указанный пятый редкоземельный элемент представляет собой эрбий.

264. Способ по любому из пп. 257-259, отличающийся тем, что он дополнительно включает взаимодействие указанной насыщенной органической фазы, содержащей указанный четвертый редкоземельный элемент и указанный пятый редкоземельный элемент, с раствором для реэкстракции с получением раствора реэкстракции, содержащего указанный четвертый редкоземельный элемент и указанный пятый редкоземельный элемент.

265. Способ по п. 264, отличающийся тем, что указанный раствор для реэкстракции представляет собой воду.

266. Способ по п. 264, отличающийся тем, что он дополнительно включает взаимодействие указанного раствора реэкстракции с экстрагирующим агентом с по существу селективной экстракцией указанного пятого редкоземельного элемента из указанного раствора реэкстракции с получением рафината, содержащего указанный четвертый редкоземельный элемент, и насыщенной органической фазы, содержащей указанный пятый редкоземельный элемент.

267. Способ по п. 266, отличающийся тем, что указанный экстрагирующий агент представляет собой ди(этилгексил)фосфоновую кислоту или ди-(2-этилгексил) ортофосфорную кислоту.

268. Способ по п. 266, отличающийся тем, что он дополнительно включает отделение указанного рафината от указанной насыщенной органической фазы, содержащей указанный пятый редкоземельный элемент, обработку указанной насыщенной органической фазы очищающим раствором с удалением из нее примесей и затем обработку указанной насыщенной органической фазы раствором для реэкстракции с получением раствора реэкстракции, содержащего указанный пятый редкоземельный элемент.

269. Способ по п. 268, отличающийся тем, что указанный очищающий раствор содержит от примерно 2 М до примерно 4 М HCl.

270. Способ по п. 268 или 269, отличающийся тем, что указанный раствор для реэкстракции содержит от примерно 3 М до примерно 4 М HCl.

271. Способ по п. 250, отличающийся тем, что указанный рафинат подвергают взаимодействию с окисляющим агентом с окислением указанного третьего редкоземельного элемента.

272. Способ по п. 271, отличающийся тем, что указанный окисляющий агент содержит гипохлорит натрия.

273. Способ по п. 271, отличающийся тем, что указанный рафинат подвергают взаимодействию с окисляющим агентом при pH от примерно 0,5 до примерно 1,5.

274. Способ по любому из пп. 271-273, отличающийся тем, что он дополнительно включает удаление из указанного рафината окисленного третьего редкоземельного элемента в форме осадка с получением фильтрата, содержащего шестой редкоземельный элемент.

275. Способ по п. 274, отличающийся тем, что он дополнительно включает взаимодействие указанного фильтрата с экстрагирующим агентом с по существу селективной экстракцией указанного шестого редкоземельного элемента из указанного фильтрата с получением насыщенной органической фазы, содержащей указанный шестой редкоземельный элемент, и другого рафината, содержащего седьмой редкоземельный элемент и восьмой редкоземельный элемент, и отделение указанной насыщенной органической фазы, содержащей указанный шестой редкоземельный элемент, от указанного рафината.

276. Способ по п. 275, отличающийся тем, что указанный экстрагирующий агент представляет собой ди(этилгексил)фосфоновую кислоту или ди-(2-этилгексил) ортофосфорную кислоту.

277. Способ по п. 275, дополнительно включающий обработку указанной насыщенной органической фазы очищающим раствором с удалением из нее примесей и затем обработку указанной насыщенной органической фазы раствором для реэкстракции с получением раствора реэкстракции, содержащего указанный шестой редкоземельный элемент.

278. Способ по п. 277, отличающийся тем, что указанный очищающий раствор

содержит от примерно 0,5 М до примерно 1,5 М HCl.

279. Способ по п. 277, отличающийся тем, что указанный раствор для рекстракции содержит от примерно 2 М до примерно 3 М HCl.

280. Способ по любому из пп. 275-279, отличающийся тем, что указанный шестой редкоземельный элемент представляет собой европий.

281. Способ по любому из пп. 275-279, отличающийся тем, что указанный седьмой редкоземельный элемент представляет собой празеодим.

282. Способ по любому из пп. 275-279, отличающийся тем, что указанный восьмой редкоземельный элемент представляет собой неодим.

283. Способ по любому из пп. 275-279, отличающийся тем, что он дополнительно включает восстановление указанного шестого редкоземельного элемента с помощью восстанавливающего агента.

284. Способ по п. 283, отличающийся тем, что указанный восстанавливающий агент представляет собой цинк(0).

285. Способ по любому из пп. 275-279, отличающийся тем, что он дополнительно включает взаимодействие указанного шестого редкоземельного элемента с сульфатом натрия с получением его сульфатного производного в форме осадка и извлечение указанного осадка.

286. Способ по любому из пп. 275-279, отличающийся тем, что он дополнительно включает взаимодействие указанного рафината, содержащего указанный седьмой редкоземельный элемент и указанный восьмой редкоземельный элемент, с экстрагирующим агентом с по существу селективной экстракцией указанного восьмого редкоземельного элемента из указанного рафината с получением насыщенной органической фазы, содержащей указанный восьмой редкоземельный элемент, рафината, содержащего указанный седьмой редкоземельный элемент, и отделение указанной насыщенной органической фазы, содержащей указанный восьмой редкоземельный элемент, от указанного рафината.

287. Способ по п. 286, отличающийся тем, что указанный экстрагирующий агент представляет собой ди(этилгексил)фосфоновую кислоту или ди-(2-этилгексил) ортофосфорную кислоту.

288. Способ по п. 286, отличающийся тем, что он дополнительно включает обработку указанной насыщенной органической фазы очищающим раствором с удалением из нее примесей и затем обработку указанной насыщенной органической фазы раствором для рекстракции с получением раствора рекстракции, содержащего указанный восьмой редкоземельный элемент.

289. Способ по п. 288, отличающийся тем, что указанный очищающий раствор содержит от примерно 2 М до примерно 3 М HCl.

290. Способ по п. 288, отличающийся тем, что указанный раствор для рекстракции содержит от примерно 3 М до примерно 4 М HCl.

291. Способ по п. 194, отличающийся тем, что указанный по меньшей мере один ион металла представляет собой ион металла, выбранного из алюминия, железа, цинка, меди, никеля, магния и титана.

292. Способ по п. 194, отличающийся тем, что он дополнительно включает предварительную обработку или обработку указанной кислой композиции ионообменной смолой с удалением примесей.

293. Способ по п. 194, отличающийся тем, что он дополнительно включает до экстракции по меньшей мере одного редкоземельного элемента и необязательно по меньшей мере одного редкого металла из указанной кислой композиции обработку

указанной кислой композиции ионообменной смолой с по меньшей мере частичным удалением из нее примесей.

294. Способ по п. 194, отличающийся тем, что он дополнительно включает обработку экстрагированных указанного по меньшей мере одного редкоземельного элемента и необязательно указанного по меньшей мере одного редкого металла с помощью плазменной горелки с дополнительной очисткой указанного по меньшей мере одного редкоземельного элемента и необязательно указанного по меньшей мере одного редкого металла.

295. Способ извлечения по меньшей мере одного редкоземельного элемента из материала, содержащего редкоземельные элементы, включающий:

получение из указанного материала кислой композиции, содержащей (i) по меньшей мере один редкоземельный элемент и необязательно по меньшей мере один редкий металл, и (ii) по меньшей мере один ион железа,

по меньшей мере частичное удаление из указанной кислой композиции указанного по меньшей мере одного иона железа с помощью экстрагирующего агента, ионообменной смолы и/или путем взаимодействия указанной композиции с восстанавливающим агентом с получением композиции, имеющей пониженное содержание указанного по меньшей мере одного иона железа, и

взаимодействие указанной композиции, имеющей указанное пониженное содержание указанного по меньшей мере одного иона железа с осаждающим агентом с по существу селективным осаждением первого редкоземельного элемента и необязательно первого редкого металла, содержащихся в образованном таким образом осадке, и извлечение указанного осадка.

296. Способ извлечения по меньшей мере одного редкоземельного элемента из материала, содержащего редкоземельные элементы, включающий:

получение из указанного материала кислой композиции, содержащей (i) по меньшей мере один редкоземельный элемент и необязательно по меньшей мере один редкий металл, и (ii) по меньшей мере один ион железа,

по меньшей мере частичное удаление из указанной кислой композиции указанного по меньшей мере одного иона железа с помощью экстрагирующего агента, ионообменной смолы и/или путем взаимодействия указанной композиции с восстанавливающим агентом с получением композиции, имеющей пониженное содержание указанного по меньшей мере одного иона железа, и

взаимодействие указанной композиции, имеющей указанное пониженное содержание указанного по меньшей мере одного иона железа с осаждающим агентом с по существу селективным осаждением первого редкоземельного элемента и первого редкого металла путем поддержания значения pH ниже 2, причем указанная композиция, имеющая указанное пониженное содержание указанного по меньшей мере одного иона железа, взаимодействует с указанным осаждающим агентом с получением жидкости, содержащей по меньшей мере один дополнительный редкоземельный элемент, и указанного осадка, содержащего указанный первый редкоземельный элемент и указанный первый редкий металл, при этом дополнительно осуществляют отделение указанной жидкости от указанного осадка.

297. Способ извлечения по меньшей мере одного редкоземельного элемента из материала, содержащего редкоземельные элементы, включающий:

получение из указанного материала кислой композиции, содержащей (i) по меньшей мере один редкоземельный элемент и необязательно по меньшей мере один редкий металл,

взаимодействие указанной композиции с осаждающим агентом с по существу селективным осаждением первого редкоземельного элемента и необязательно первого редкого металла путем поддержания окислительно-восстановительного потенциала примерно $E_h + 380$ мВ.

5 298. Способ извлечения по меньшей мере одного редкоземельного элемента из материала, содержащего редкоземельные элементы, включающий:

получение из указанного материала кислой композиции, содержащей (i) по меньшей мере один редкоземельный элемент и необязательно по меньшей мере один редкий металл,

10 взаимодействие указанной композиции с осаждающим агентом с по существу селективным осаждением первого редкоземельного элемента и необязательно первого редкого металла,

выщелачивание указанного осадка и получение раствора после выщелачивания, и экстракцию указанного раствора после выщелачивания экстрагирующим агентом
15 с по существу селективной экстракцией указанного первого редкоземельного элемента и указанного первого редкого металла и получение насыщенной органической фазы.

299. Способ извлечения по меньшей мере одного редкоземельного элемента из материала, содержащего редкоземельные элементы, включающий:

получение из указанного материала кислой композиции, содержащей (i) по меньшей
20 мере один редкоземельный элемент и необязательно по меньшей мере один редкий металл, и (ii) по меньшей мере один ион железа,

по меньшей мере частичное удаление из указанной кислой композиции указанного по меньшей мере одного иона железа с помощью экстрагирующего агента, ионообменной смолы и/или путем взаимодействия указанной композиции с
25 восстанавливающим агентом с получением композиции, имеющей пониженное содержание указанного по меньшей мере одного иона железа, и

взаимодействие указанной композиции, имеющей указанное пониженное содержание указанного по меньшей мере одного иона железа с осаждающим агентом с по существу селективным осаждением первого редкоземельного элемента и необязательно первого
30 редкого металла,

при этом дополнительно проводят предварительную обработку или обработку указанной кислой композиции ионообменной смолой с удалением примесей.

300. Способ извлечения по меньшей мере одного редкоземельного элемента из материала, содержащего редкоземельные элементы, включающий:

35 получение из указанного материала кислой композиции, содержащей (i) по меньшей мере один редкоземельный элемент и необязательно по меньшей мере один редкий металл,

взаимодействие указанной композиции с осаждающим агентом с селективным осаждением первого редкоземельного элемента и необязательно первого редкого
40 металла,

при этом дополнительно проводят предварительную обработку или обработку указанной кислой композиции ионообменной смолой с удалением примесей.

301. Способ извлечения по меньшей мере одного редкоземельного элемента из материала, содержащего редкоземельные элементы, включающий:

45 получение из указанного материала кислой композиции, содержащей (i) по меньшей мере один редкоземельный элемент и необязательно по меньшей мере один редкий металл, и (ii) по меньшей мере один ион железа,

по меньшей мере частичное удаление из указанной кислой композиции указанного

по меньшей мере одного иона железа с помощью экстрагирующего агента, ионообменной смолы и/или путем взаимодействия указанной композиции с восстанавливающим агентом с получением композиции, имеющей пониженное содержание указанного по меньшей мере одного иона железа, и

5 взаимодействие указанной композиции, имеющей указанное пониженное содержание указанного по меньшей мере одного иона железа, с осаждающим агентом с по существу селективным осаждением первого редкоземельного элемента и необязательно первого редкого металла,

при этом дополнительно проводят обработку указанного по меньшей мере одного редкоземельного элемента и необязательно указанного по меньшей мере одного редкого металла, которые экстрагированы, с помощью плазменной горелки с дополнительной очисткой указанного по меньшей мере одного редкоземельного элемента и необязательно указанного по меньшей мере одного редкого металла.

302. Способ извлечения по меньшей мере одного редкоземельного элемента из материала, содержащего редкоземельные элементы, включающий:

получение из указанного материала кислой композиции, содержащей (i) по меньшей мере один редкоземельный элемент и необязательно по меньшей мере один редкий металл,

20 взаимодействие указанной композиции с осаждающим агентом с по существу селективным осаждением первого редкоземельного элемента и необязательно первого редкого металла,

при этом дополнительно проводят обработку указанного по меньшей мере одного редкоземельного элемента и необязательно указанного по меньшей мере одного редкого металла, которые экстрагированы, с помощью плазменной горелки с дополнительной очисткой указанного по меньшей мере одного редкоземельного элемента и необязательно указанного по меньшей мере одного редкого металла.

303. Способ извлечения по меньшей мере одного редкоземельного элемента из материала, содержащего редкоземельные элементы, включающий:

30 получение из указанного материала кислой композиции, содержащей (i) по меньшей мере один редкоземельный элемент и по меньшей мере один редкий металл, и (ii) по меньшей мере один ион металла,

по меньшей мере частичное удаление из указанной кислой композиции указанного по меньшей мере одного иона металла с помощью экстрагирующего агента, ионообменной смолы и/или путем взаимодействия указанной композиции с восстанавливающим агентом с получением композиции, имеющей пониженное содержание указанного по меньшей мере одного иона металла, и

взаимодействие указанной композиции, имеющей указанное пониженное содержание указанного по меньшей мере одного иона металла с осаждающим агентом с по существу селективным осаждением первого редкоземельного элемента и первого редкого металла.

40 304. Способ извлечения по меньшей мере одного редкоземельного элемента из материала, содержащего редкоземельные элементы, включающий:

получение из указанного материала кислой композиции, содержащей (i) по меньшей мере один редкоземельный элемент и по меньшей мере один редкий металл, и (ii) по меньшей мере один ион металла,

45 по меньшей мере частичное удаление из указанной кислой композиции указанного по меньшей мере одного иона металла с помощью экстрагирующего агента, ионообменной смолы и/или путем взаимодействия указанной композиции с восстанавливающим агентом с получением композиции, имеющей пониженное

содержание указанного по меньшей мере одного иона металла, и

взаимодействие указанной композиции, имеющей указанное пониженное содержание указанного по меньшей мере одного иона металла с осаждающим агентом с по существу селективным осаждением первого редкоземельного элемента и первого редкого металла, представляющего собой галлий.

305. Способ извлечения по меньшей мере одного редкоземельного элемента из материала, содержащего редкоземельные элементы, включающий:

получение из указанного материала кислой композиции, содержащей (i) по меньшей мере один редкоземельный элемент и по меньшей мере один редкий металл, и (ii) по меньшей мере один ион металла,

по меньшей мере частичное удаление из указанной кислой композиции указанного по меньшей мере одного иона металла с помощью экстрагирующего агента, ионообменной смолы и/или путем взаимодействия указанной композиции с восстанавливающим агентом с получением композиции, имеющей пониженное содержание указанного по меньшей мере одного иона металла, и

взаимодействие указанной композиции, имеющей указанное пониженное содержание указанного по меньшей мере одного иона металла с осаждающим агентом с по существу селективным осаждением первого редкоземельного элемента и первого редкого металла, причем указанная композиция, имеющая указанное пониженное содержание указанного по меньшей мере одного иона металла, взаимодействует с указанным осаждающим агентом с по существу селективным осаждением первого редкоземельного элемента и первого редкого металла, содержащихся в образованном осадке, и отделение указанного осадка.

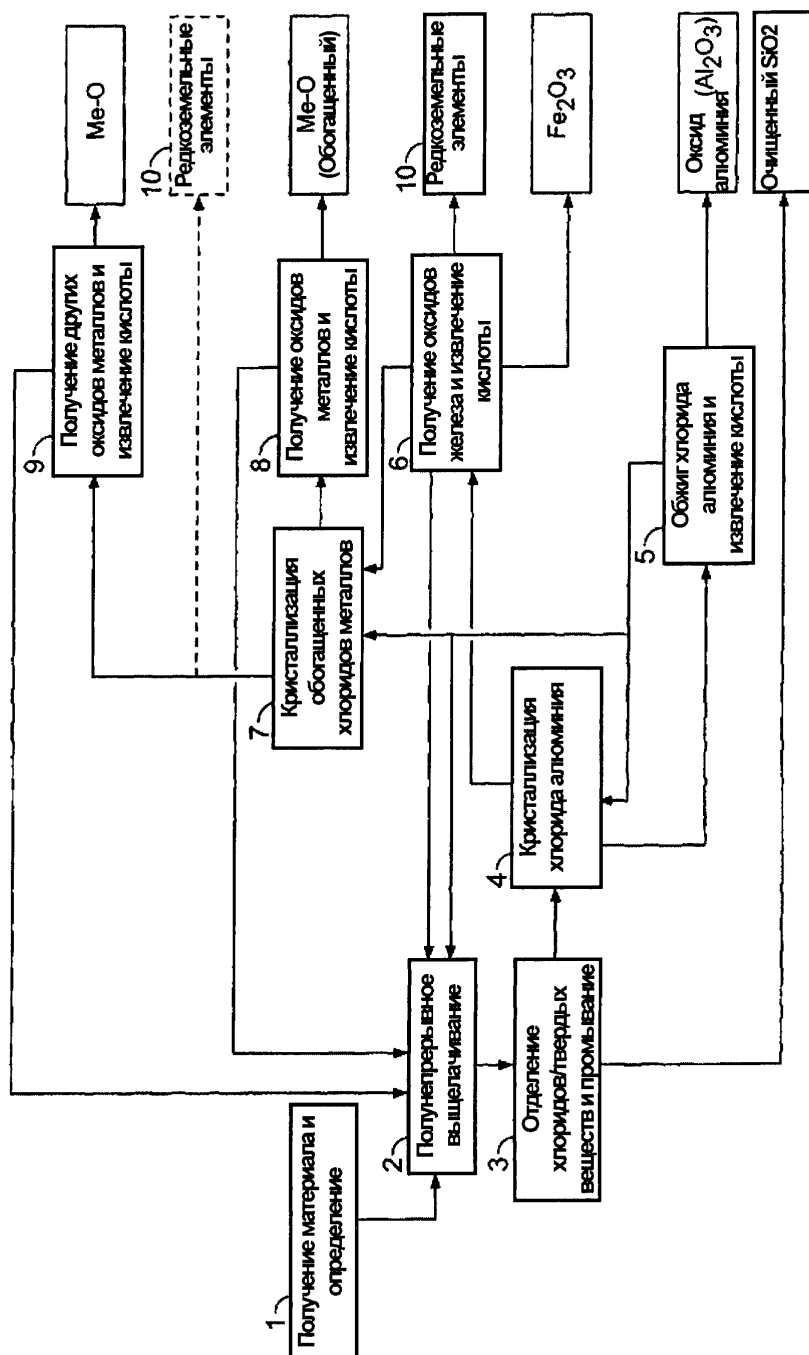
306. Способ извлечения по меньшей мере одного редкоземельного элемента из материала, содержащего редкоземельные элементы, включающий:

получение из указанного материала кислой композиции, содержащей (i) по меньшей мере один редкоземельный элемент и необязательно по меньшей мере один редкий металл, и (ii) по меньшей мере один ион металла,

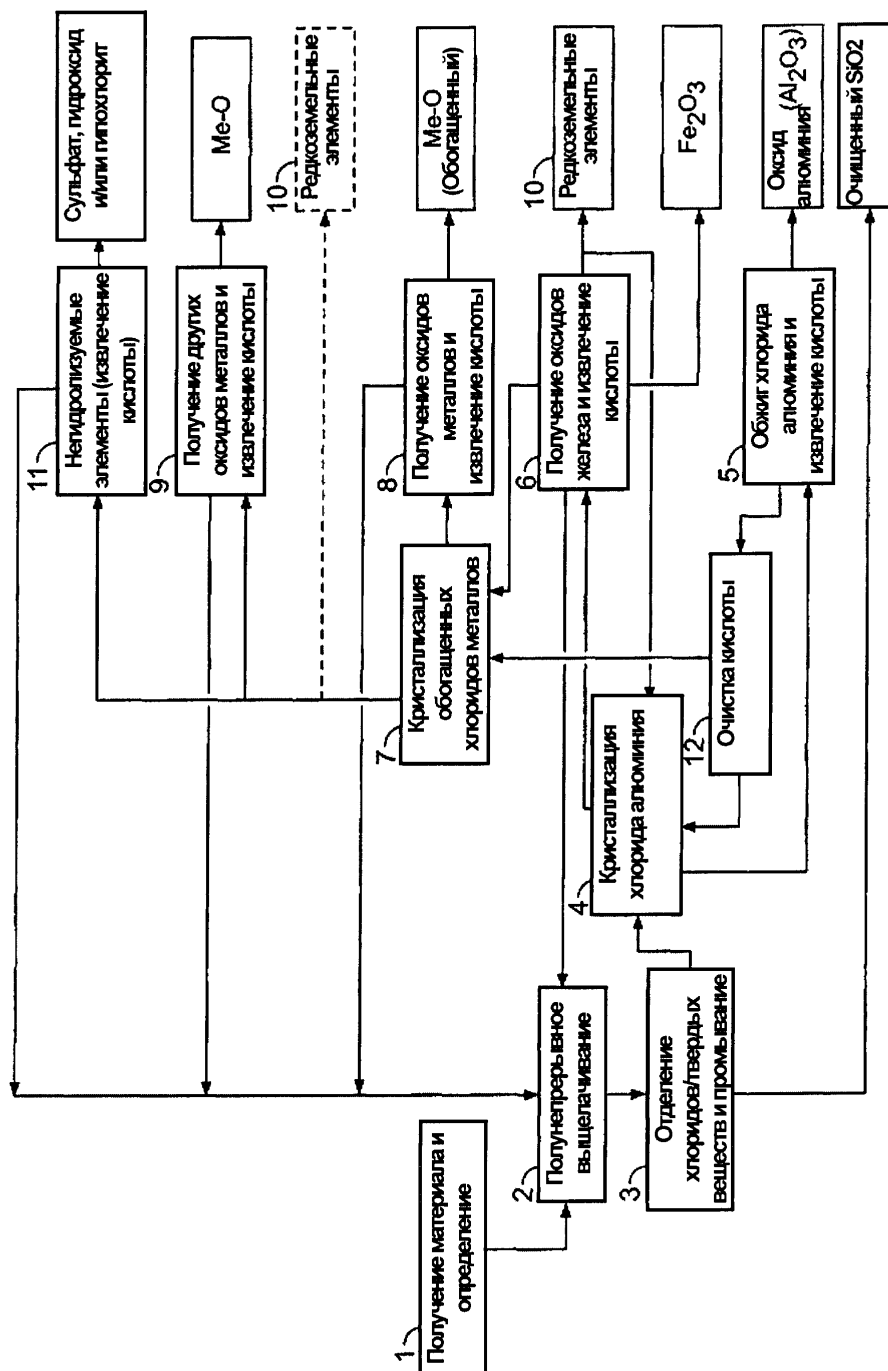
по меньшей мере частичное удаление из указанной кислой композиции указанного по меньшей мере одного иона металла с помощью экстрагирующего агента, ионообменной смолы и/или путем взаимодействия указанной композиции с восстанавливающим агентом с получением композиции, имеющей пониженное содержание указанного по меньшей мере одного иона металла, и

взаимодействие указанной композиции, имеющей указанное пониженное содержание указанного по меньшей мере одного иона металла с осаждающим агентом с по существу селективным осаждением первого редкоземельного элемента и необязательно первого редкого металла,

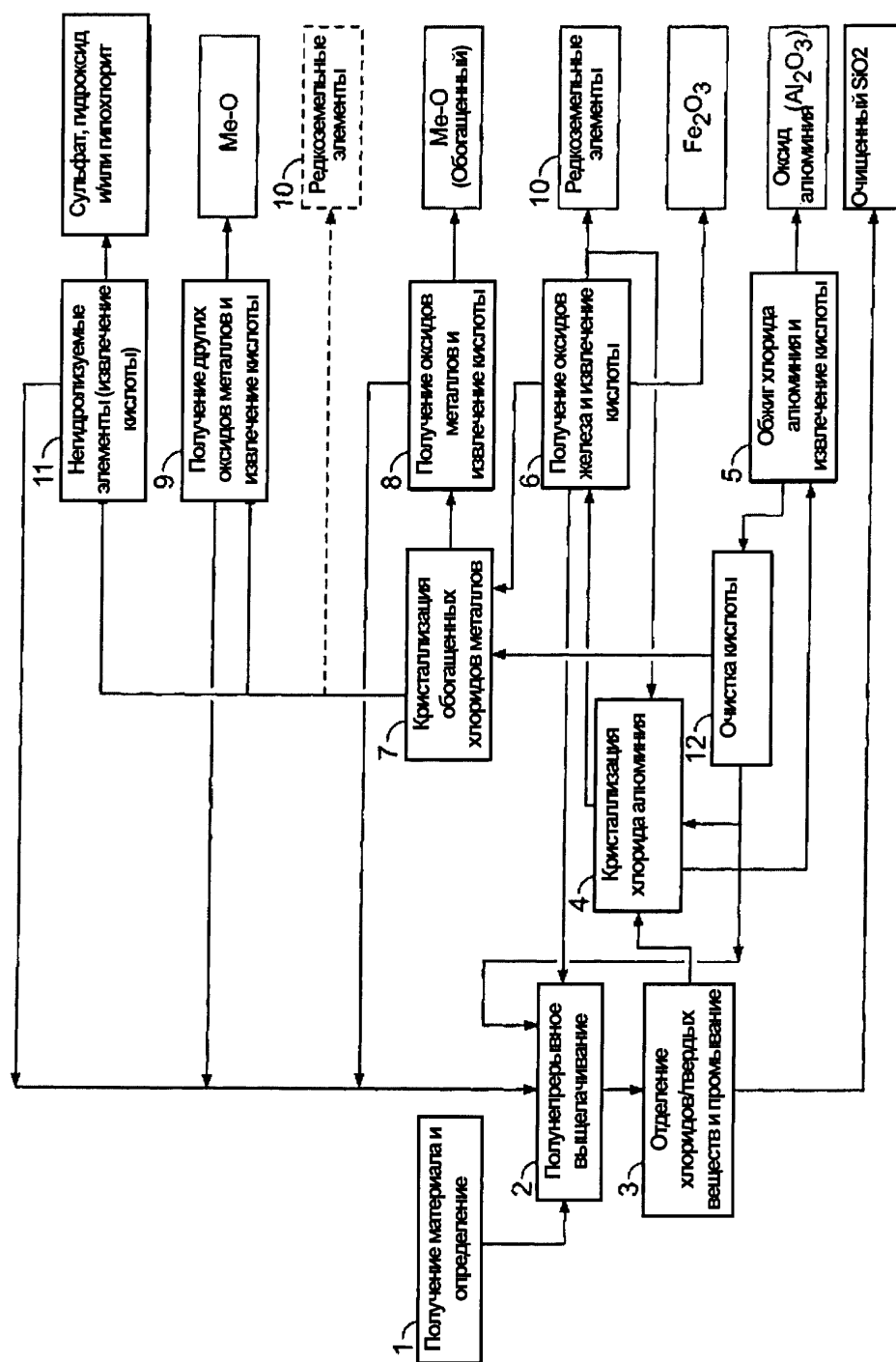
при этом дополнительно проводят обработку указанного по меньшей мере одного редкоземельного элемента и необязательно указанного по меньшей мере одного редкого металла, которые экстрагированы, с помощью плазменной горелки с дополнительной очисткой указанного по меньшей мере одного редкоземельного элемента и необязательно указанного по меньшей мере одного редкого металла.



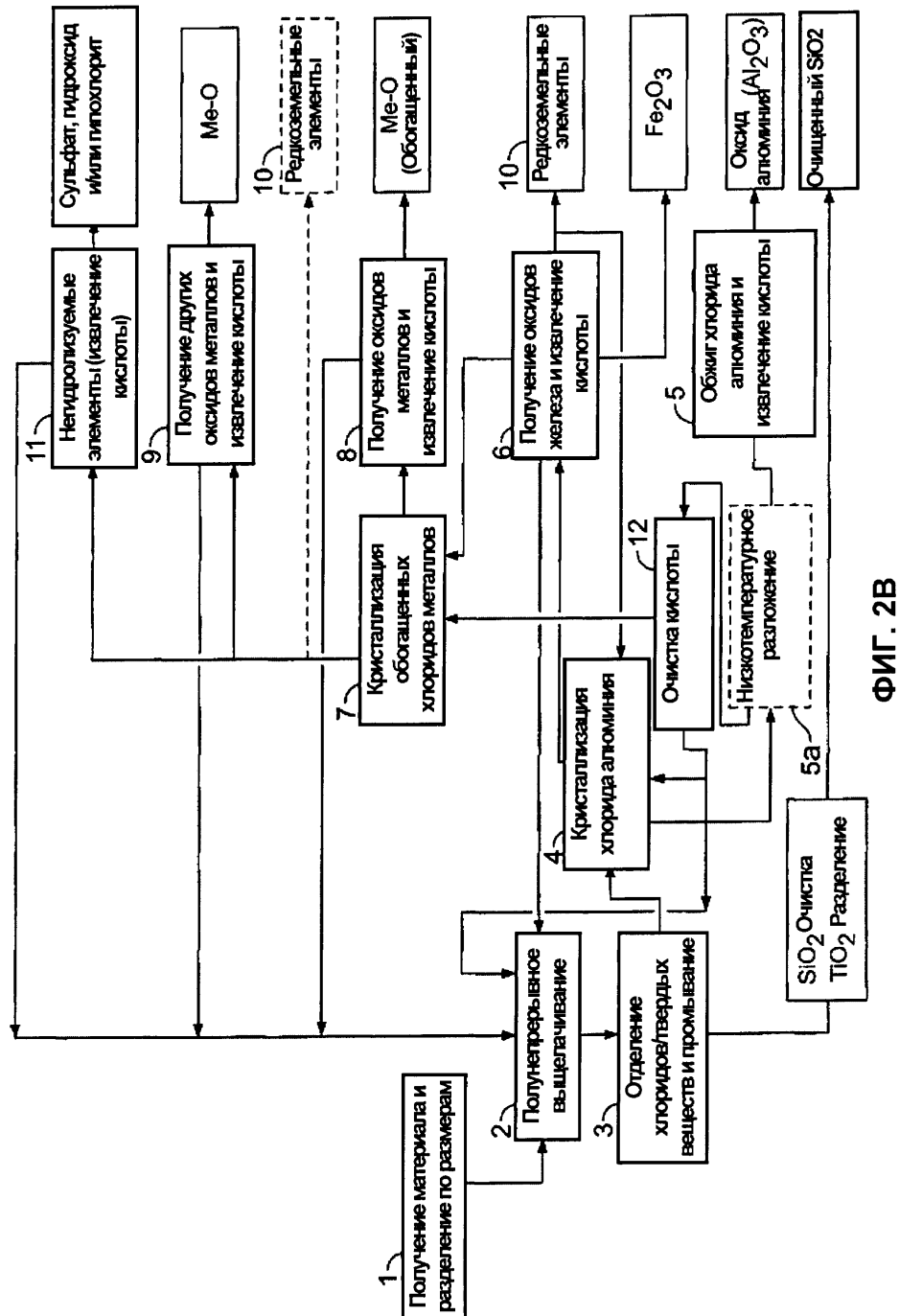
ФИГ. 1



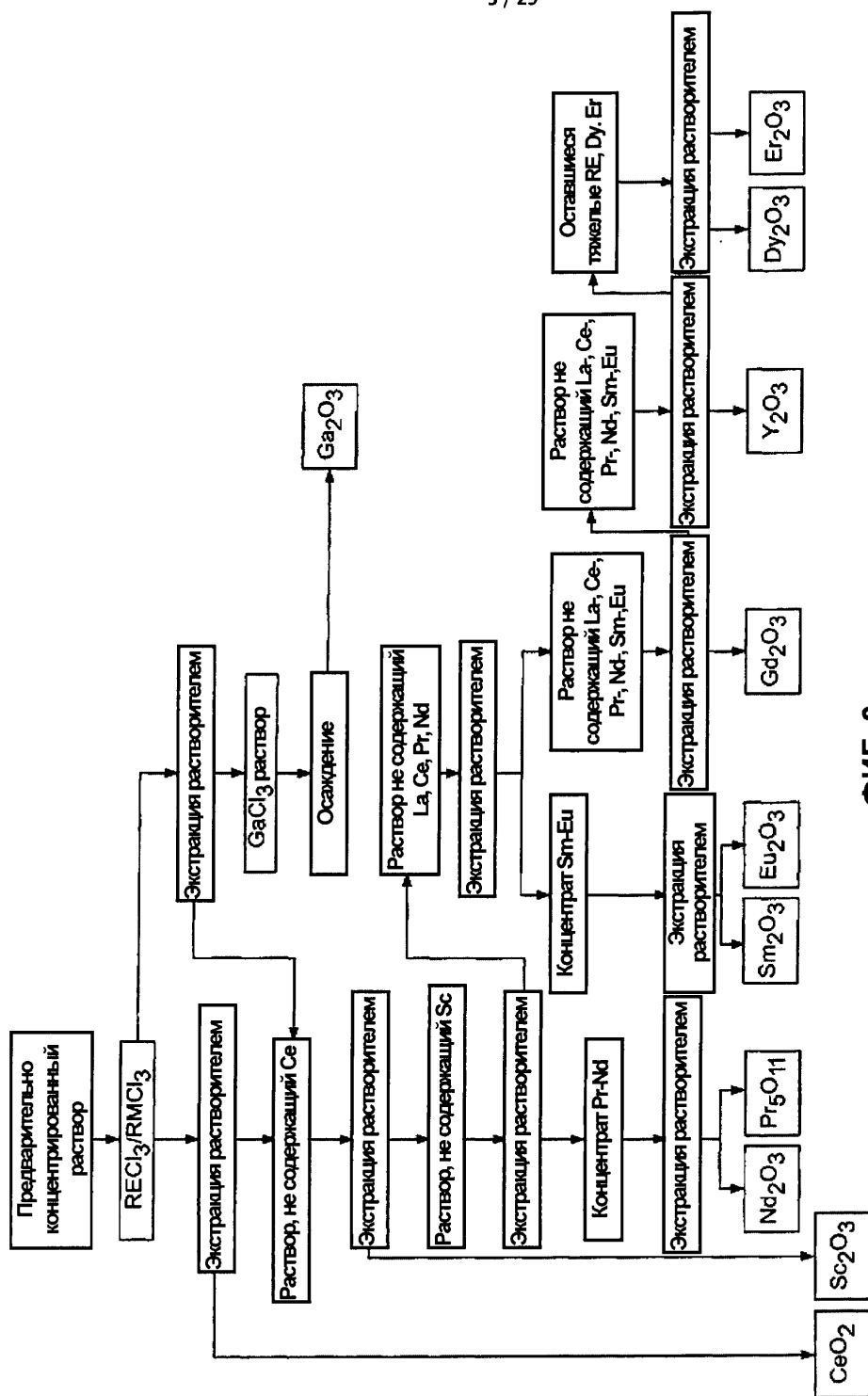
ФИГ. 2



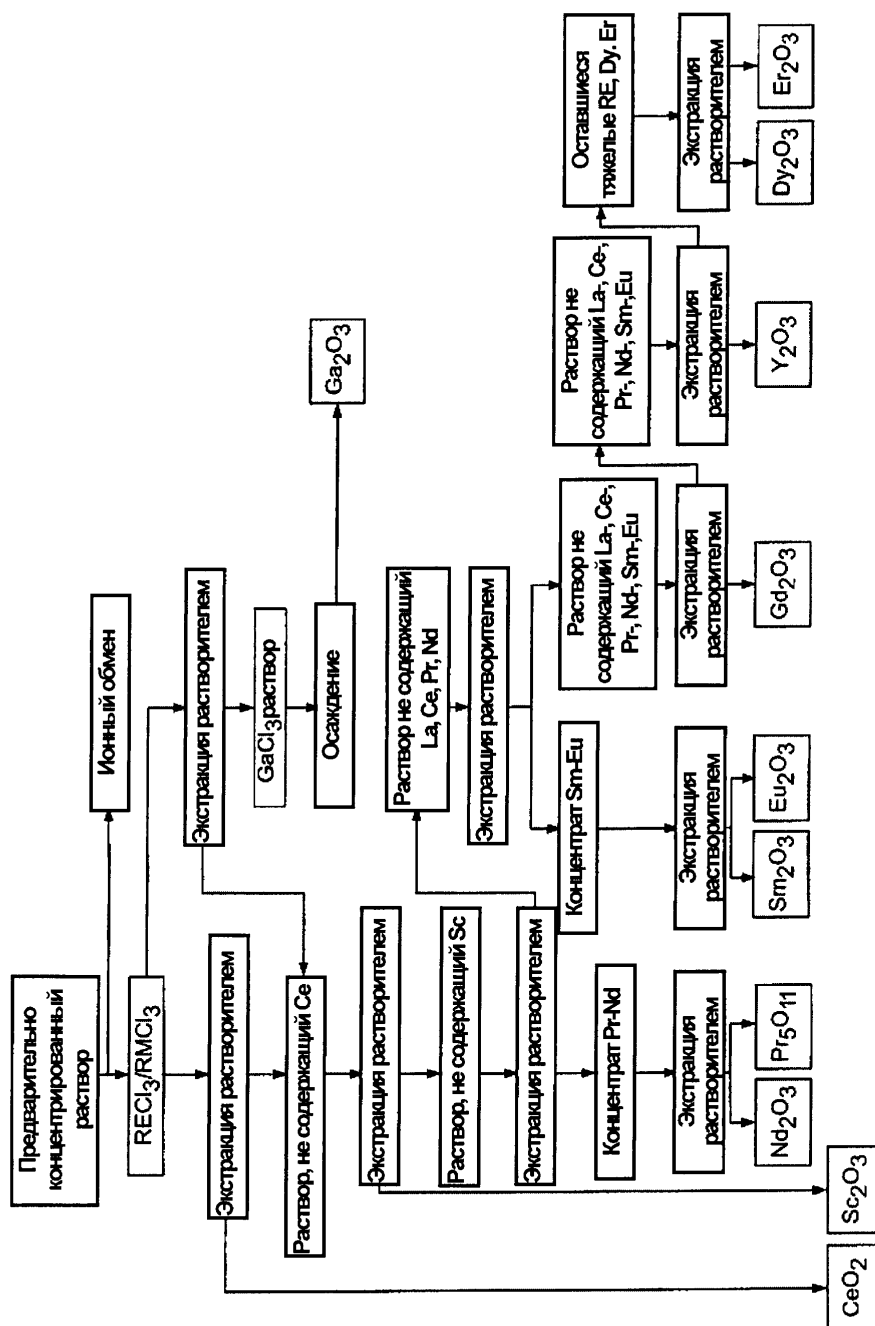
ФИГ. 2А



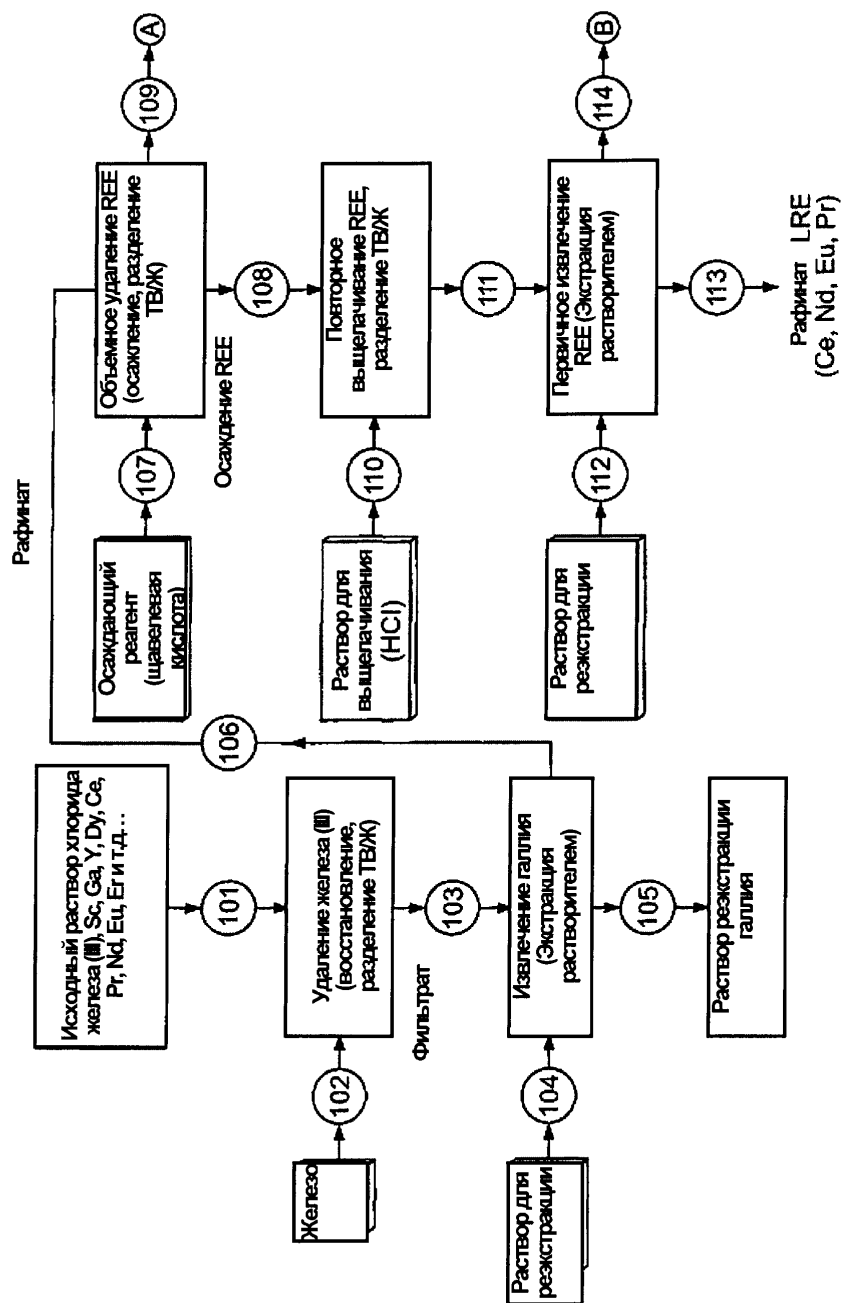
ФИГ. 2В



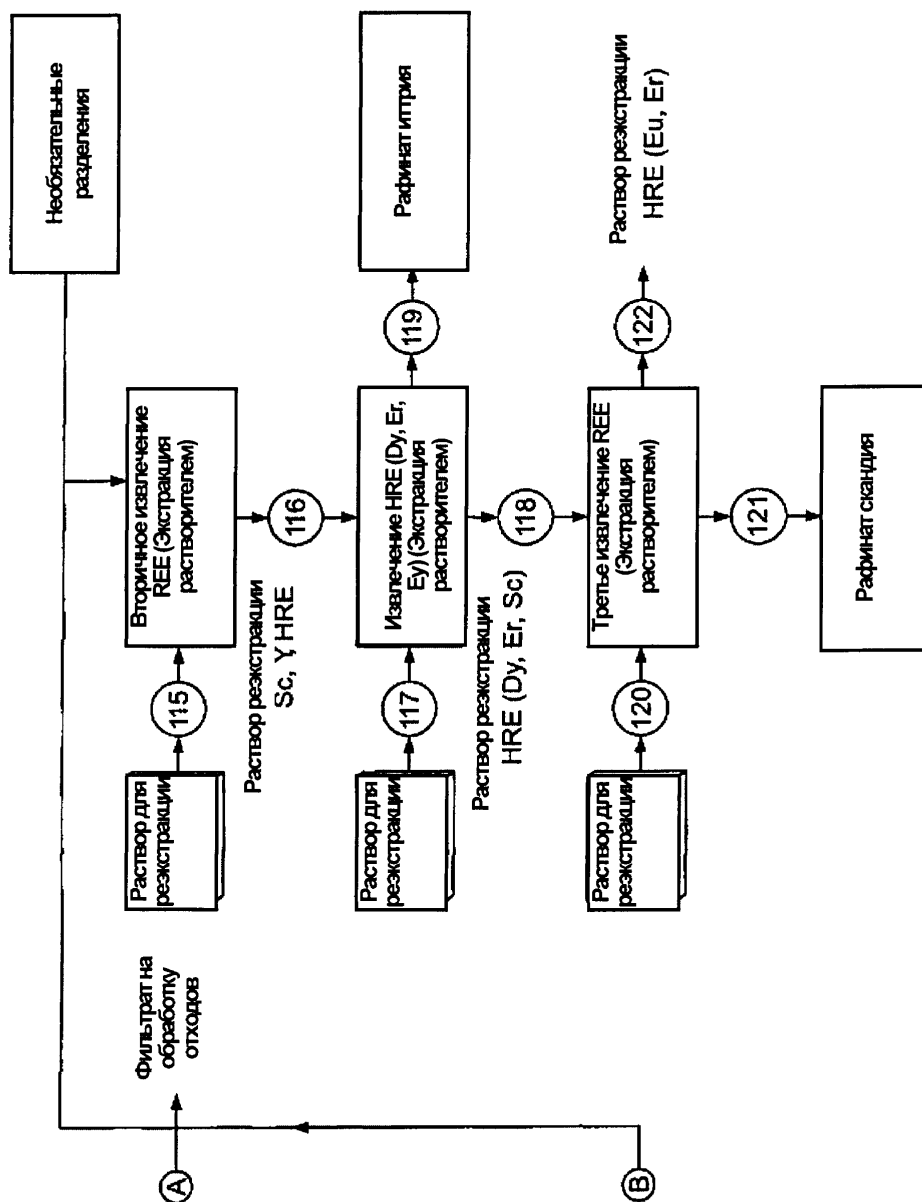
ФИГ. 3



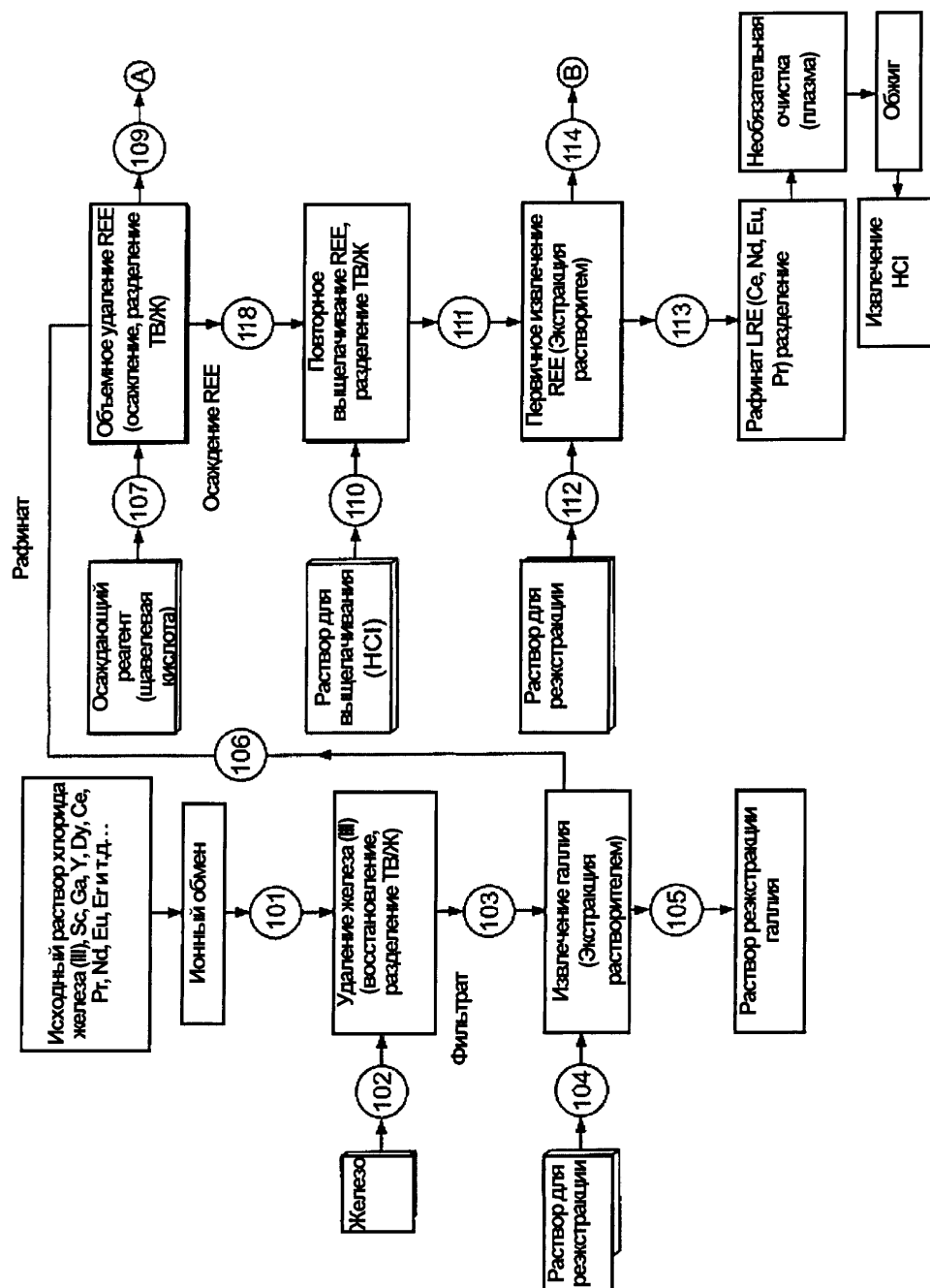
ФИГ. 3А



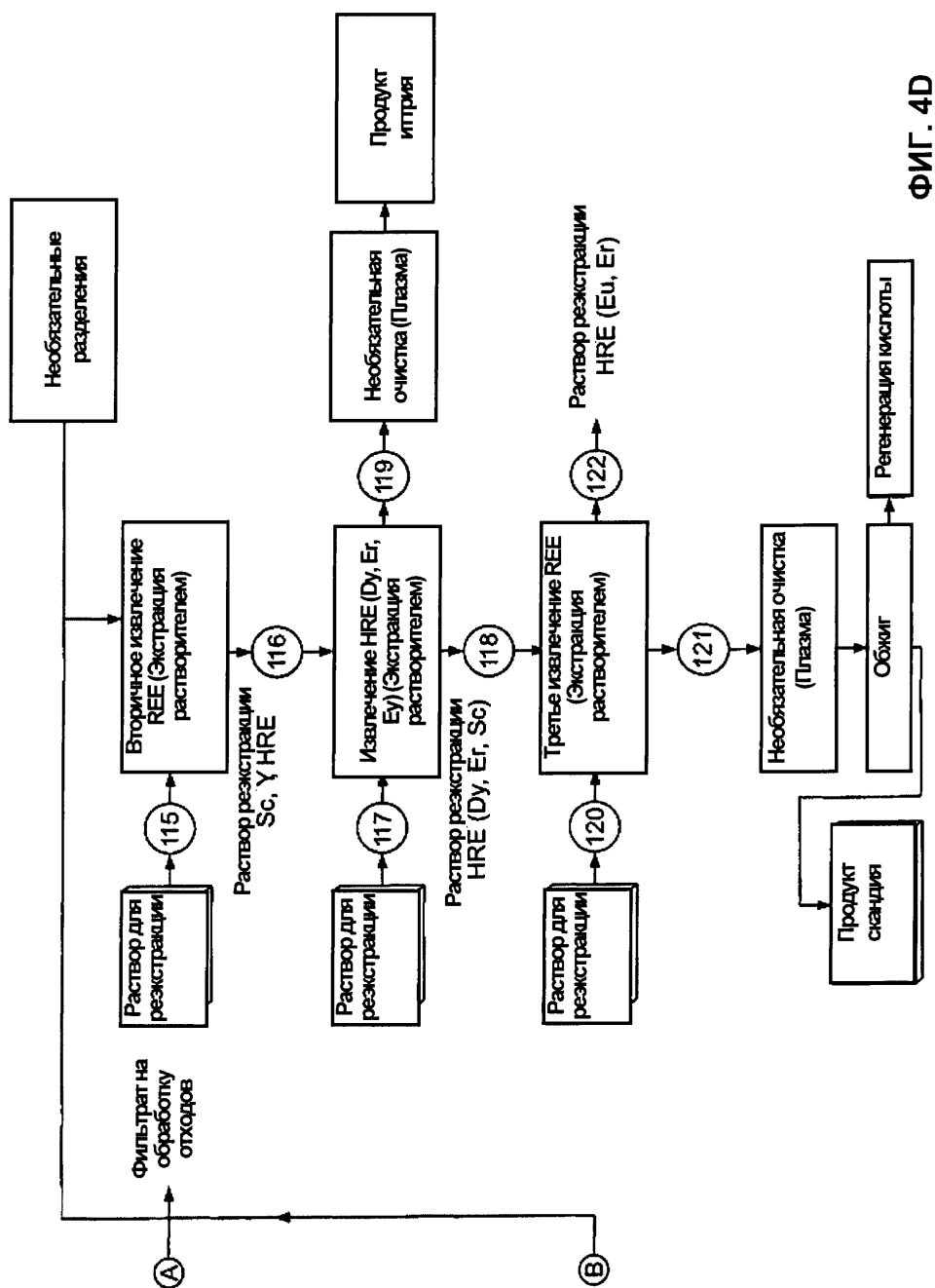
ФИГ. 4А



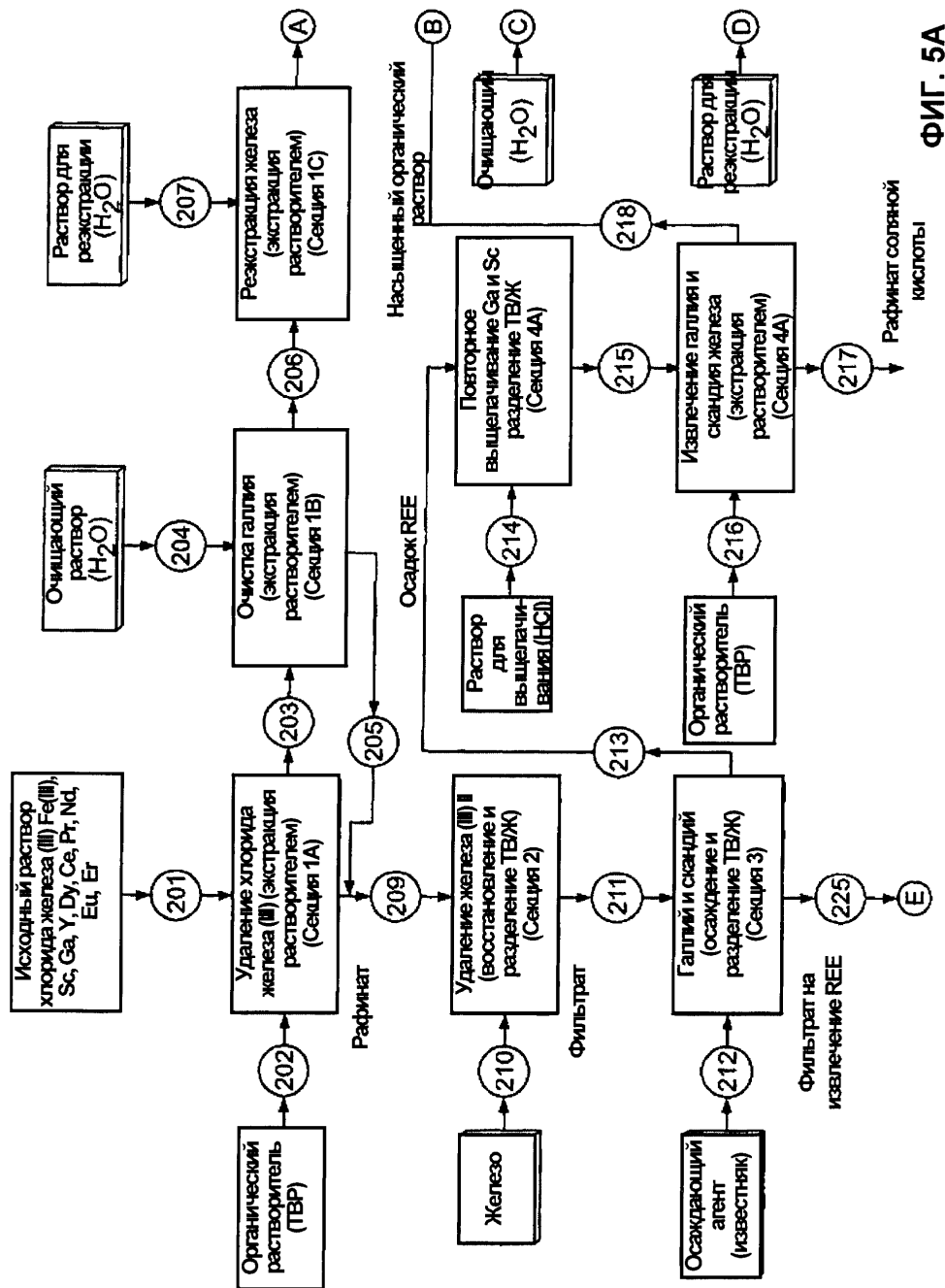
ФИГ. 4В



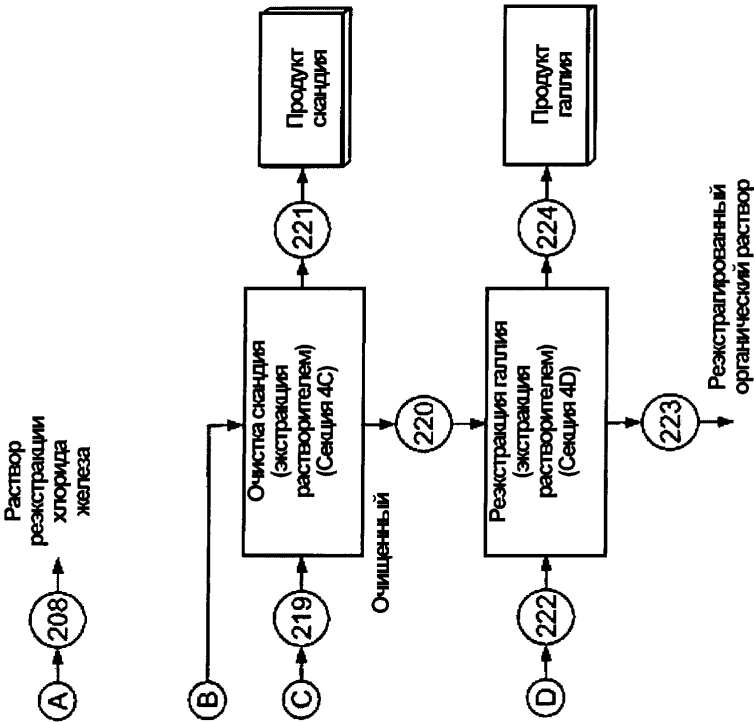
ФИГ. 4С



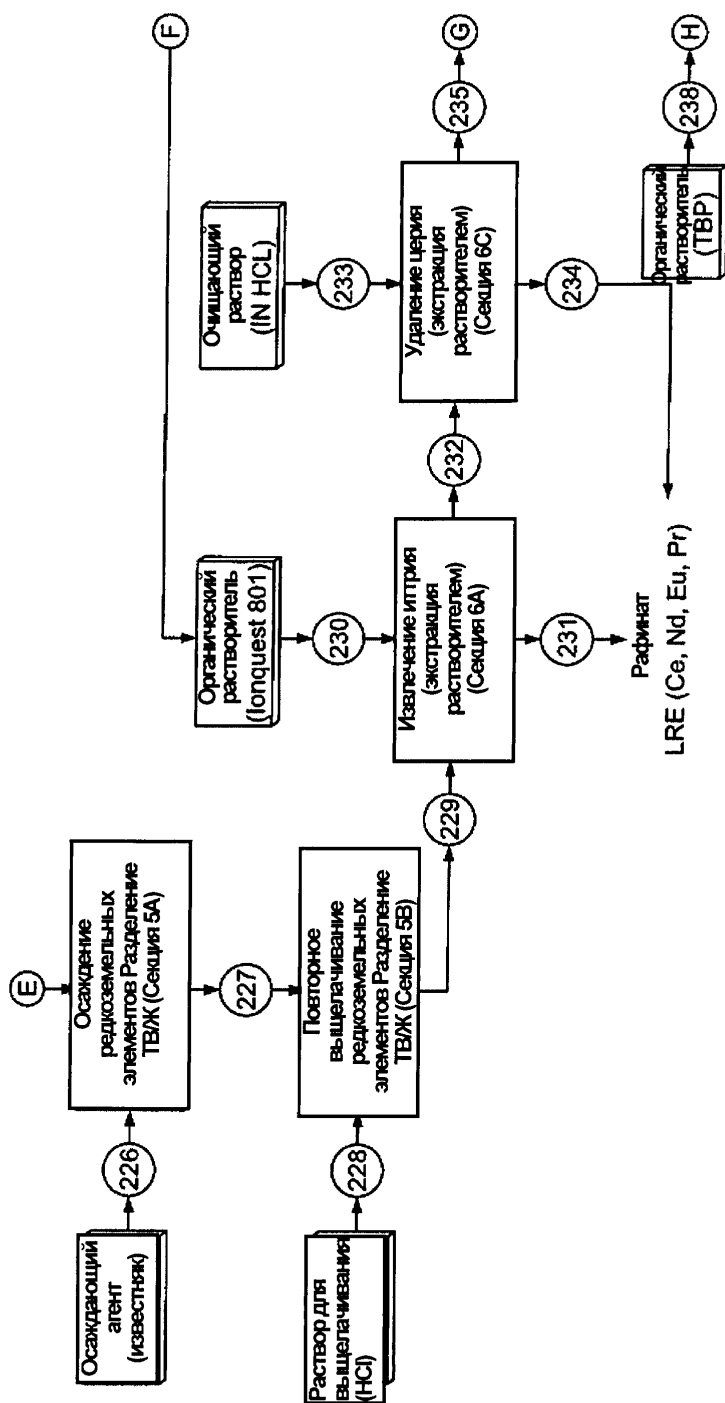
ФИГ. 4D



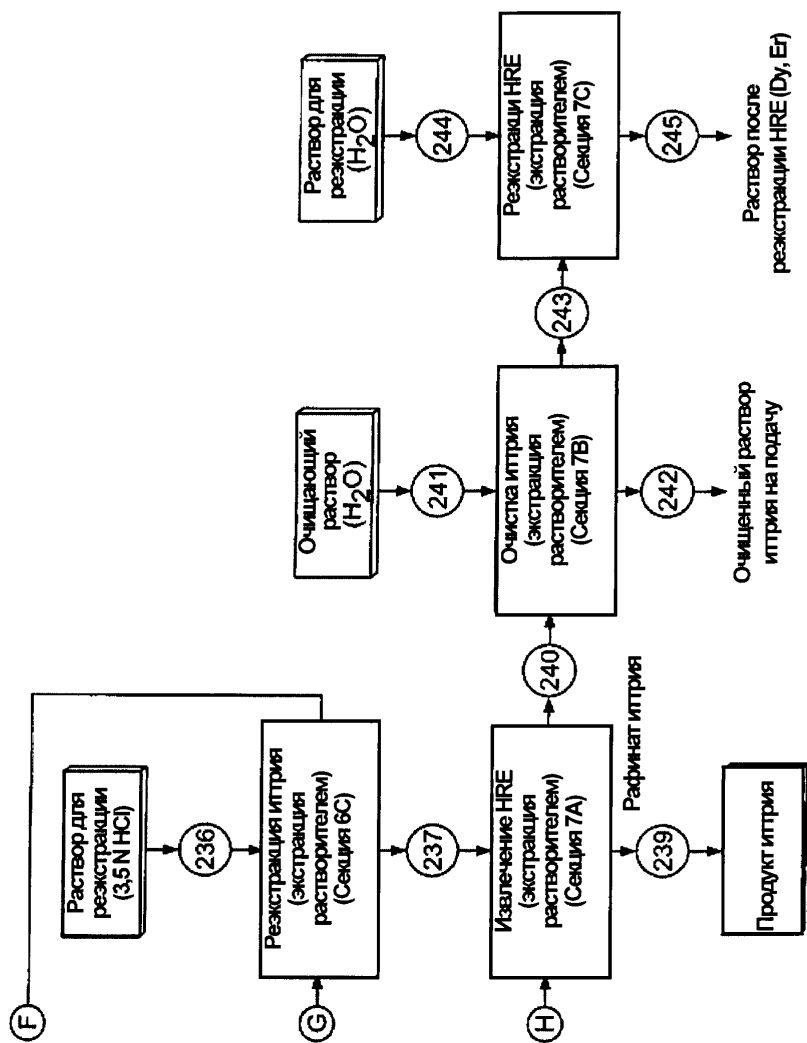
ФИГ. 5А



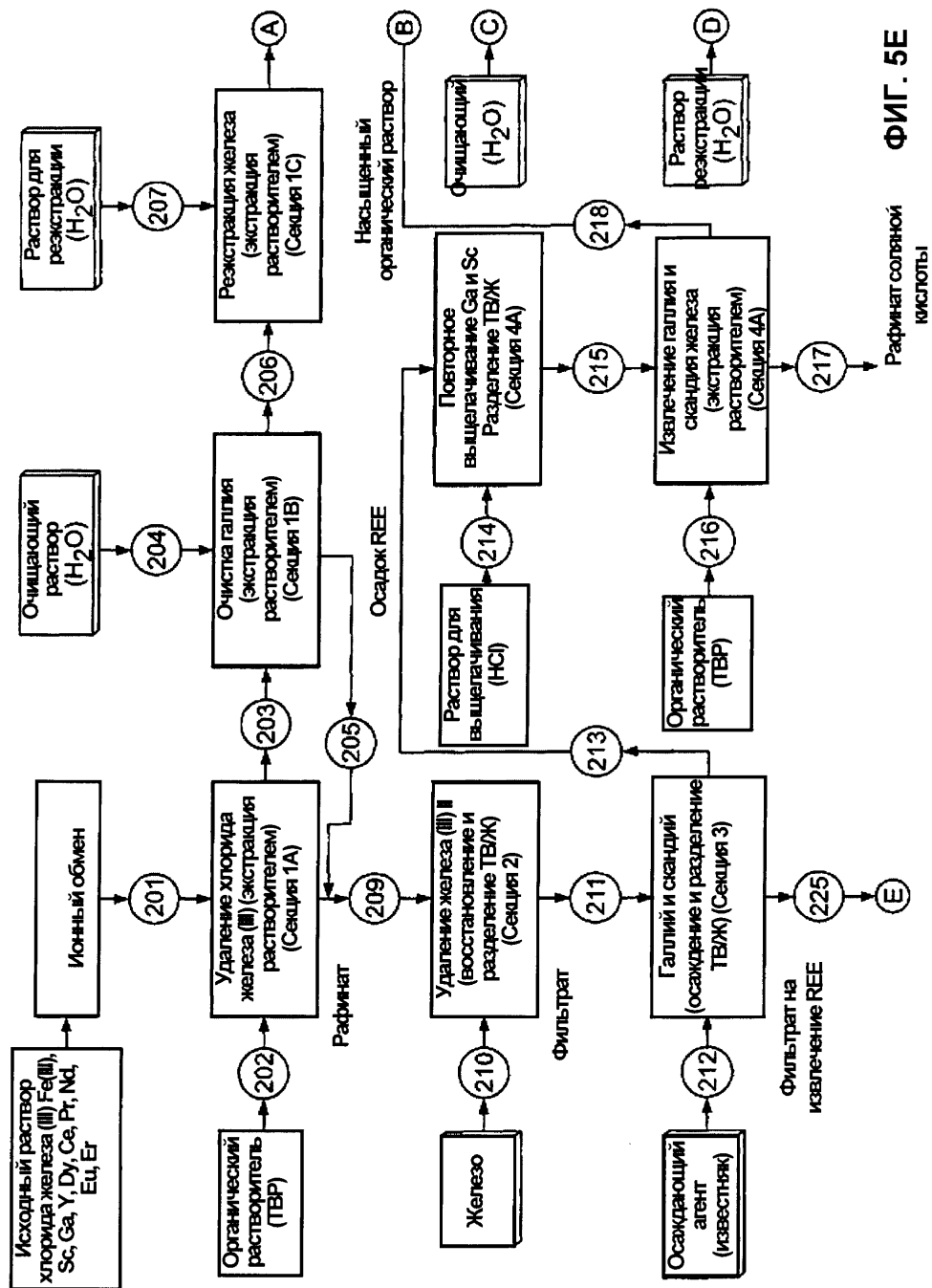
ФИГ. 5В



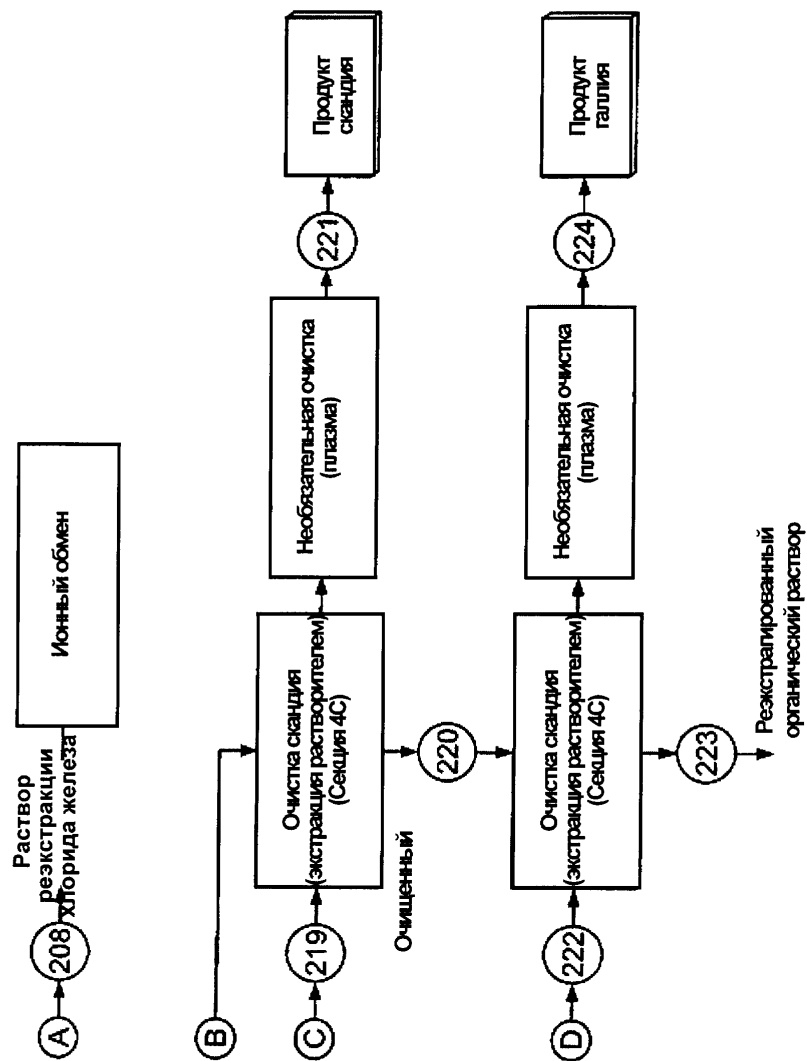
ФИГ. 5С



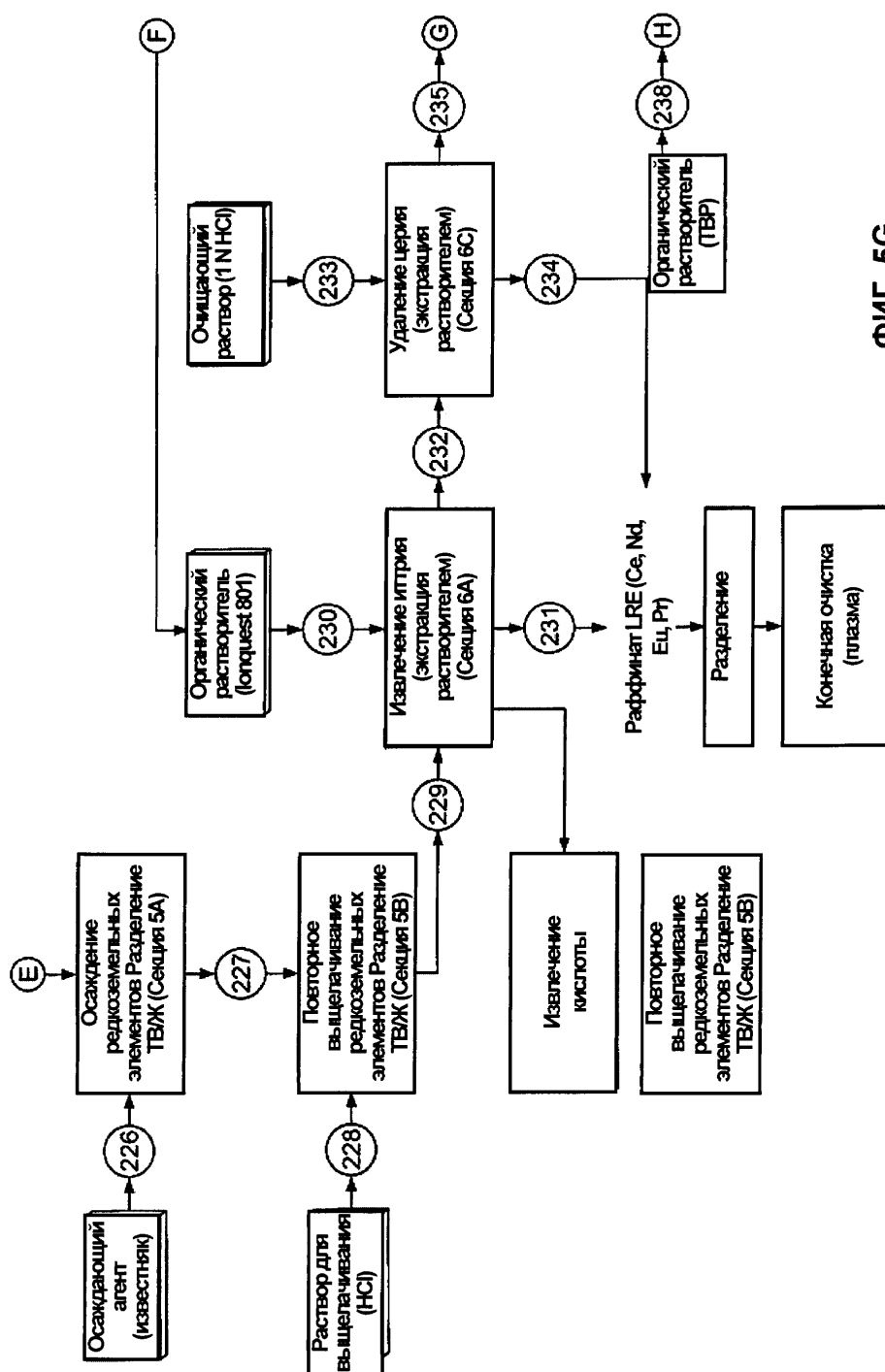
ФИГ. 5D



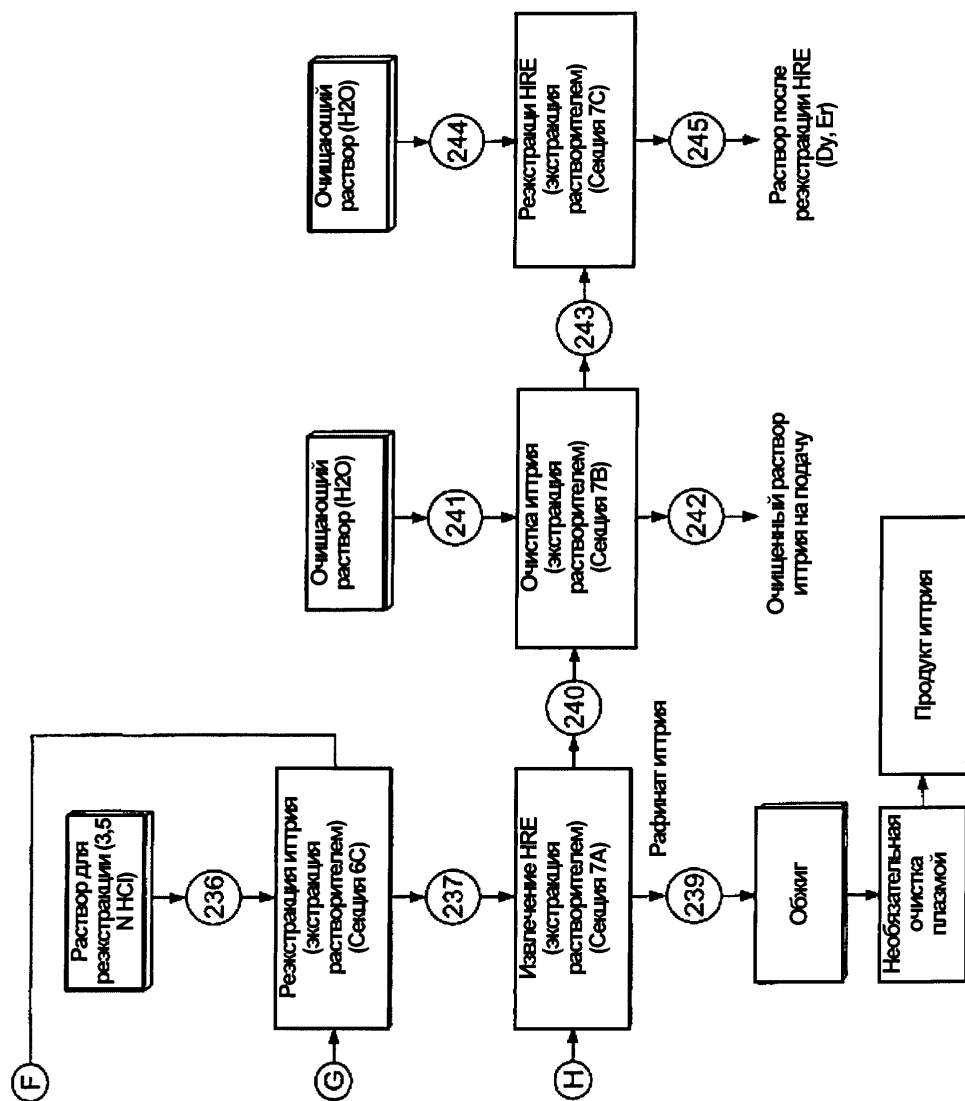
ФИГ. 5Е



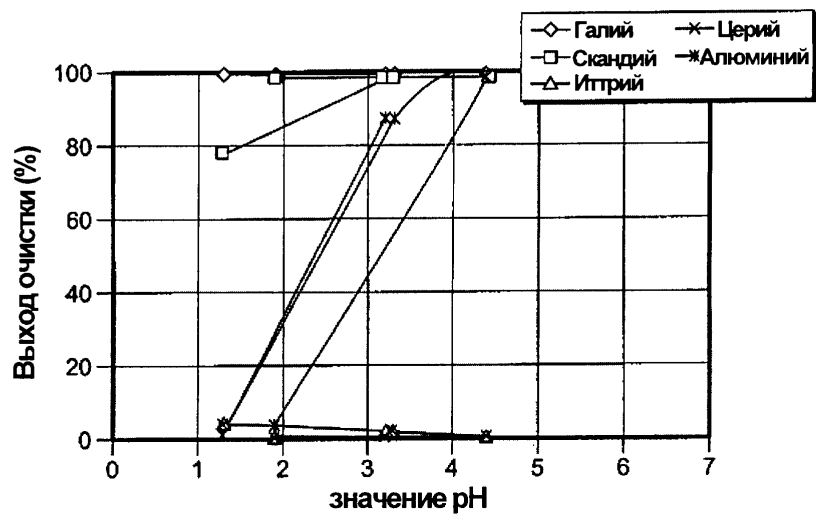
ФИГ. 5F



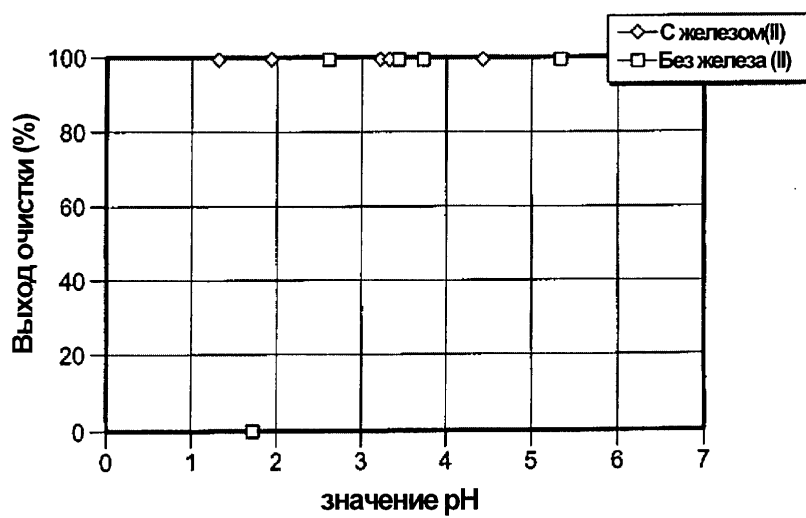
ФИГ. 5G



ФИГ. 5Н

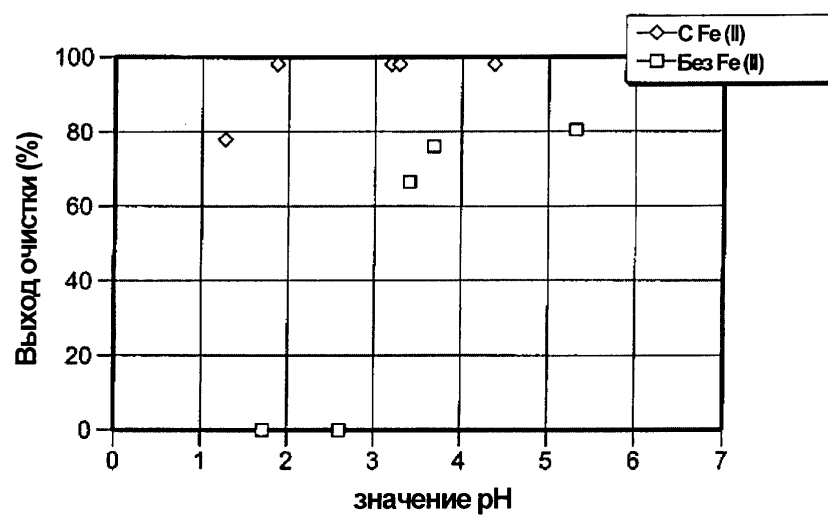


ФИГ. 6

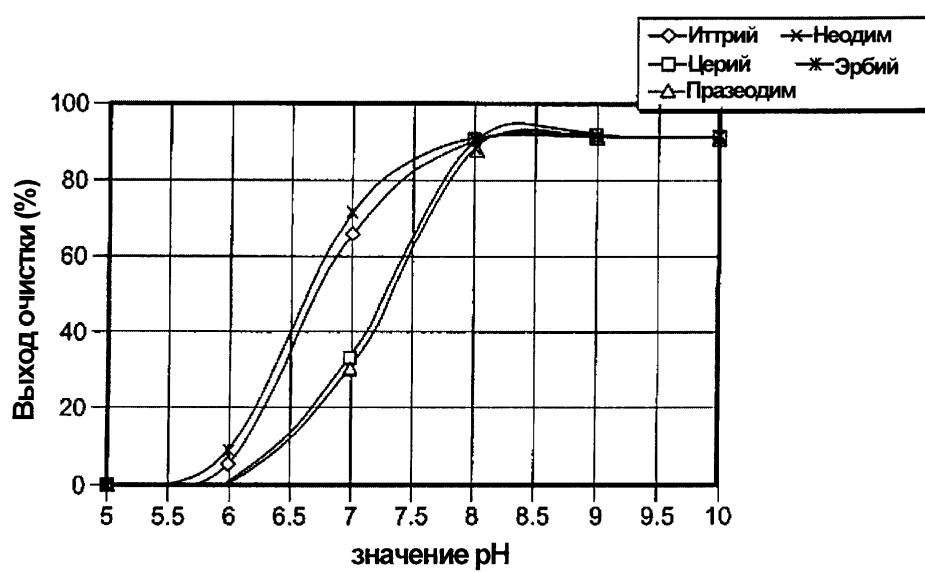


ФИГ. 7

20 / 29

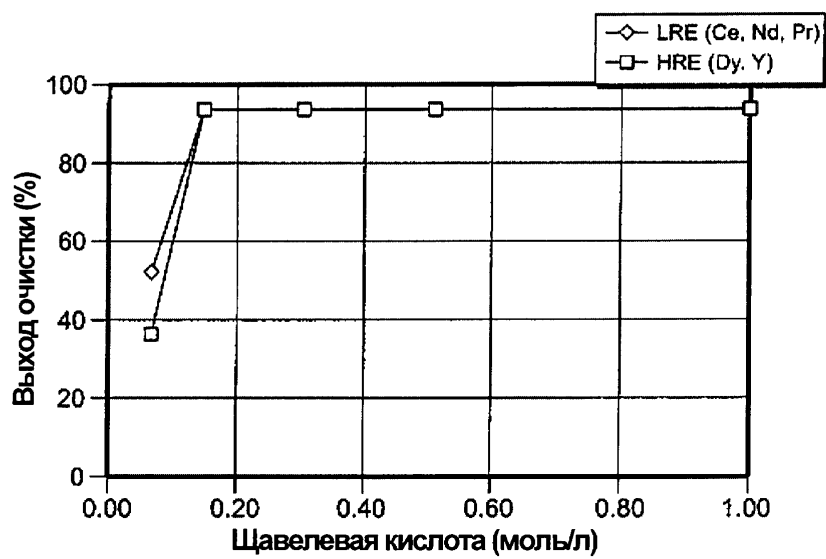


ФИГ. 8

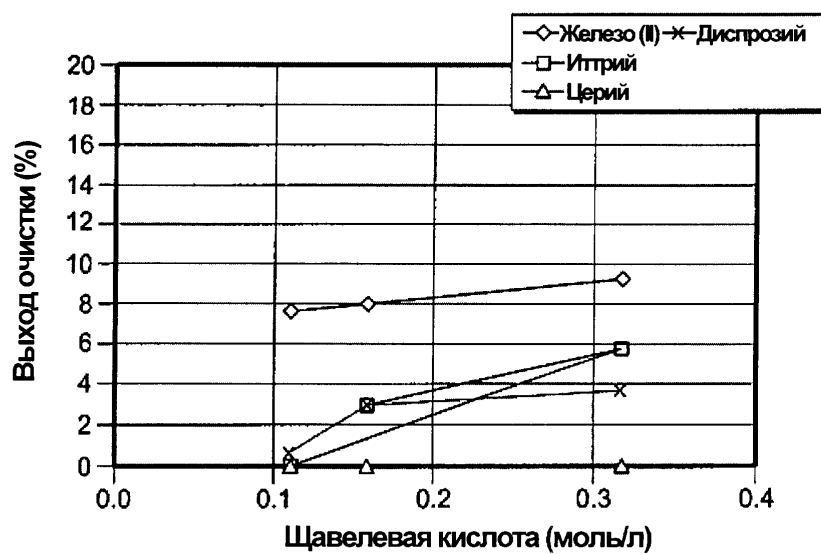


ФИГ. 9

21 / 29

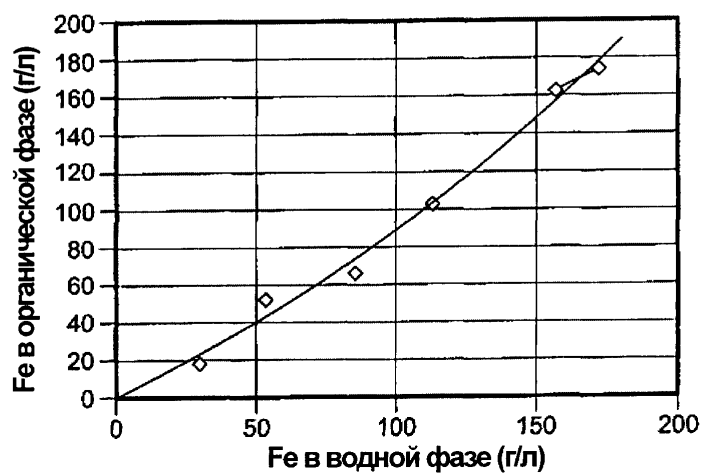


ФИГ. 10

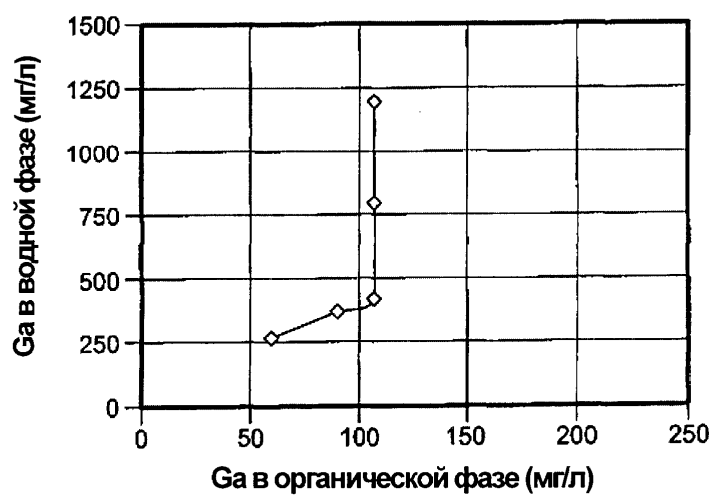


ФИГ. 11

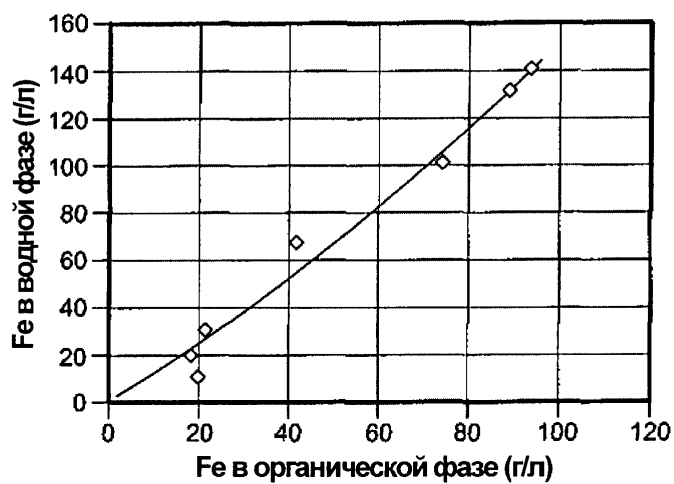
22 / 29



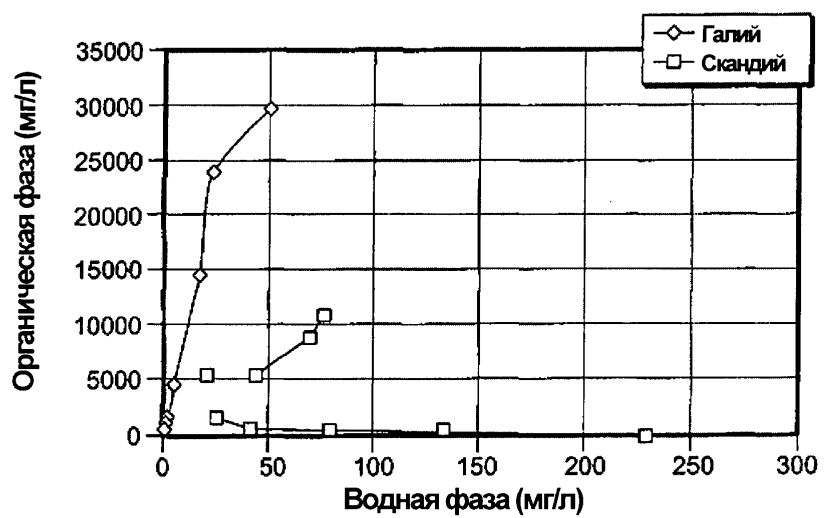
ФИГ. 12



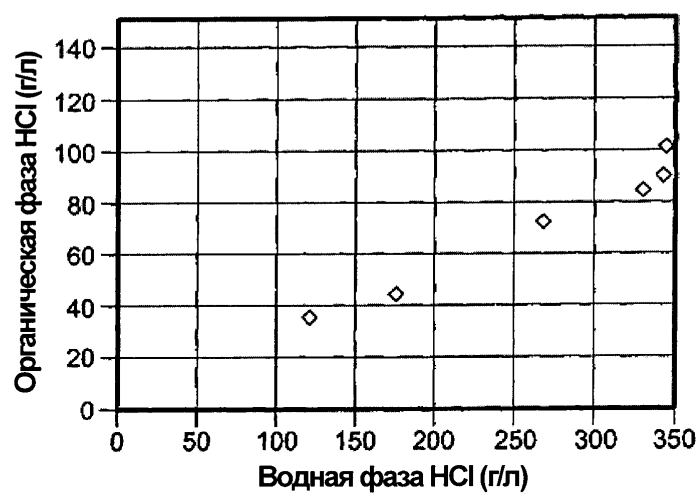
ФИГ. 13



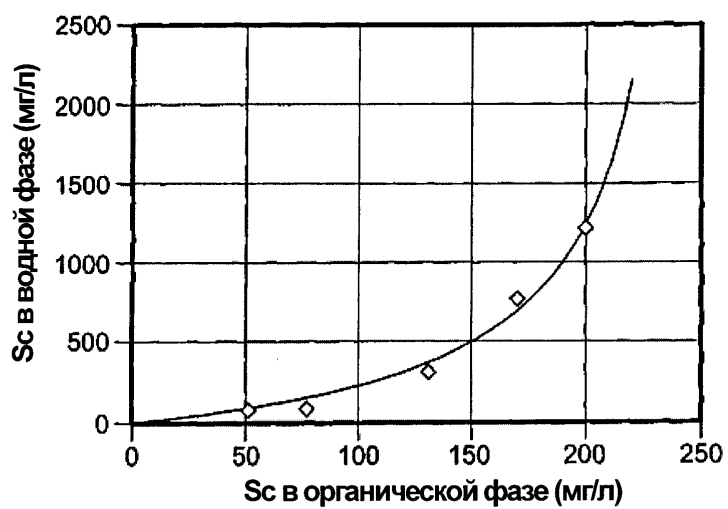
ФИГ. 14



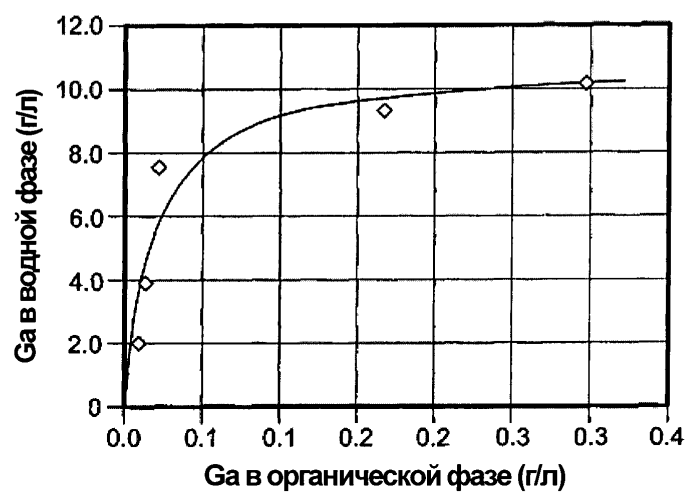
ФИГ. 15



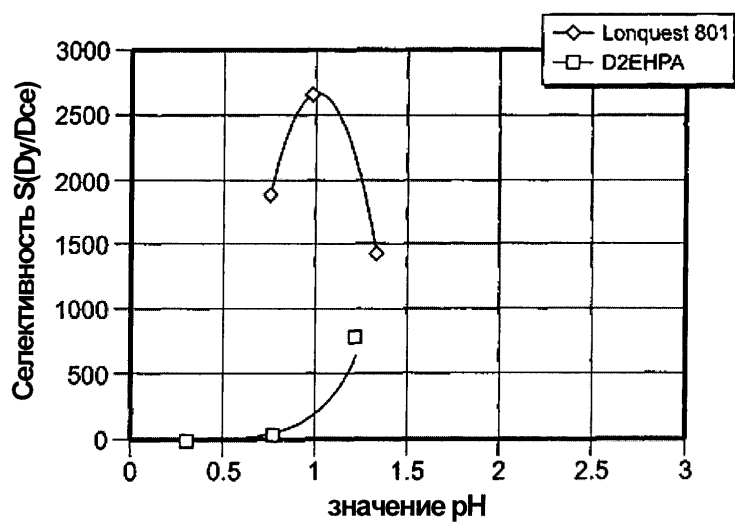
ФИГ. 16



ФИГ. 17

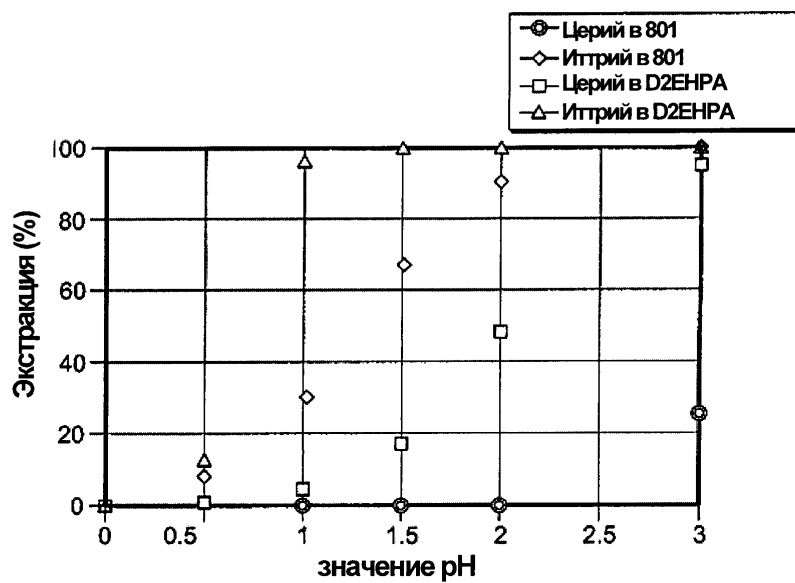


ФИГ. 18

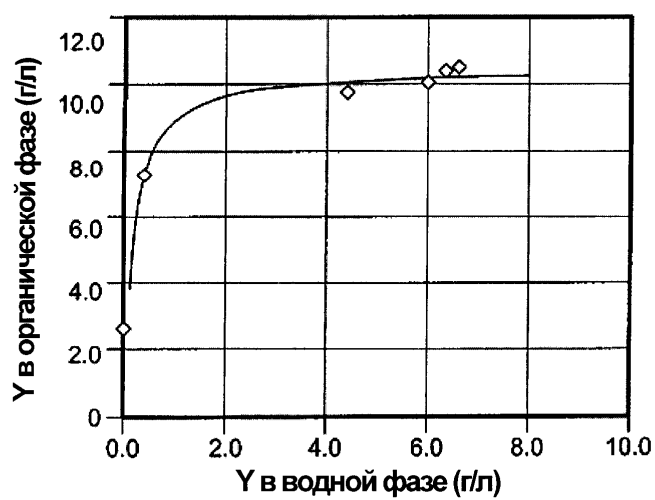


ФИГ. 19

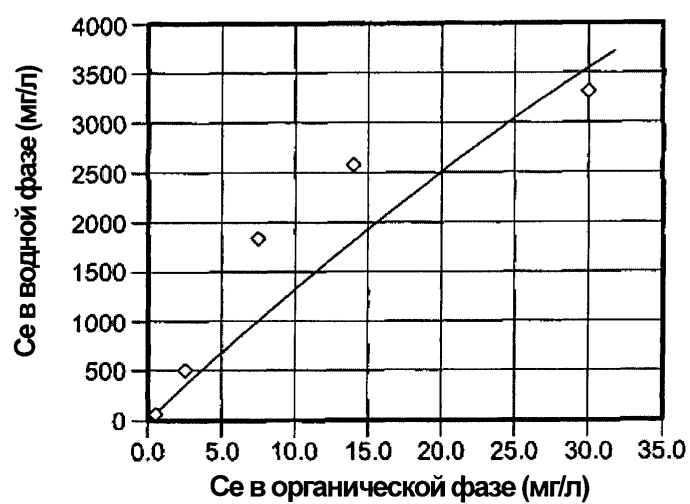
26 / 29



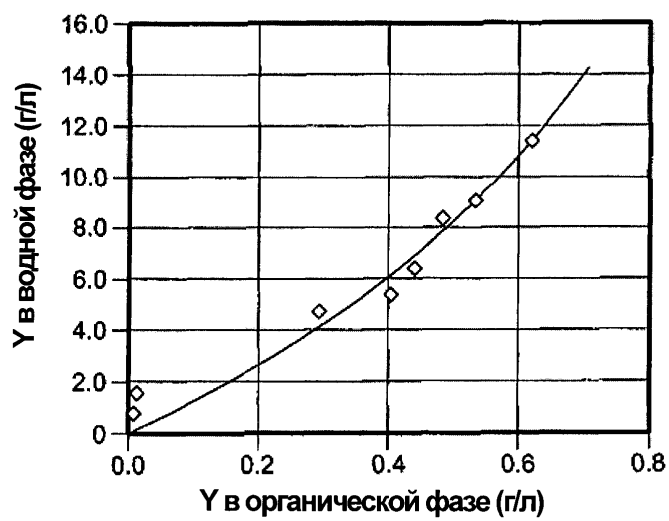
ФИГ. 20



ФИГ. 21

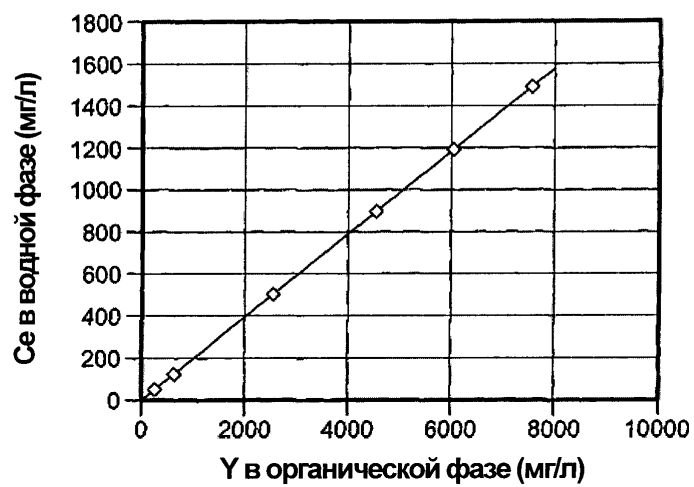


ФИГ. 22

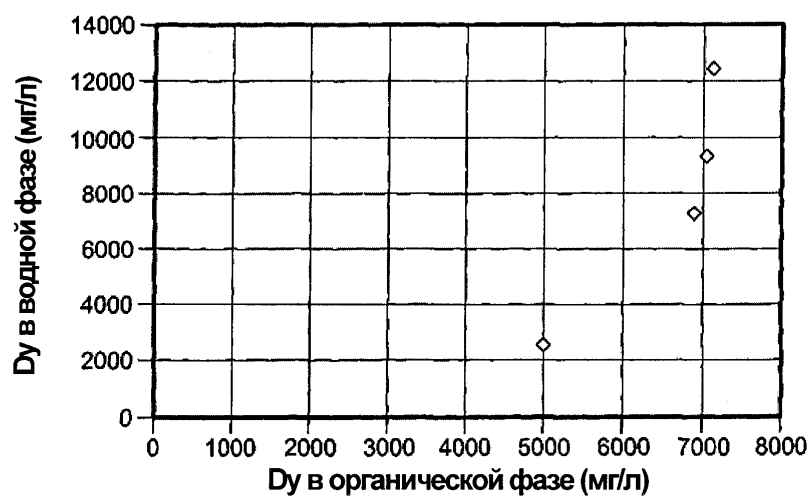


ФИГ. 23

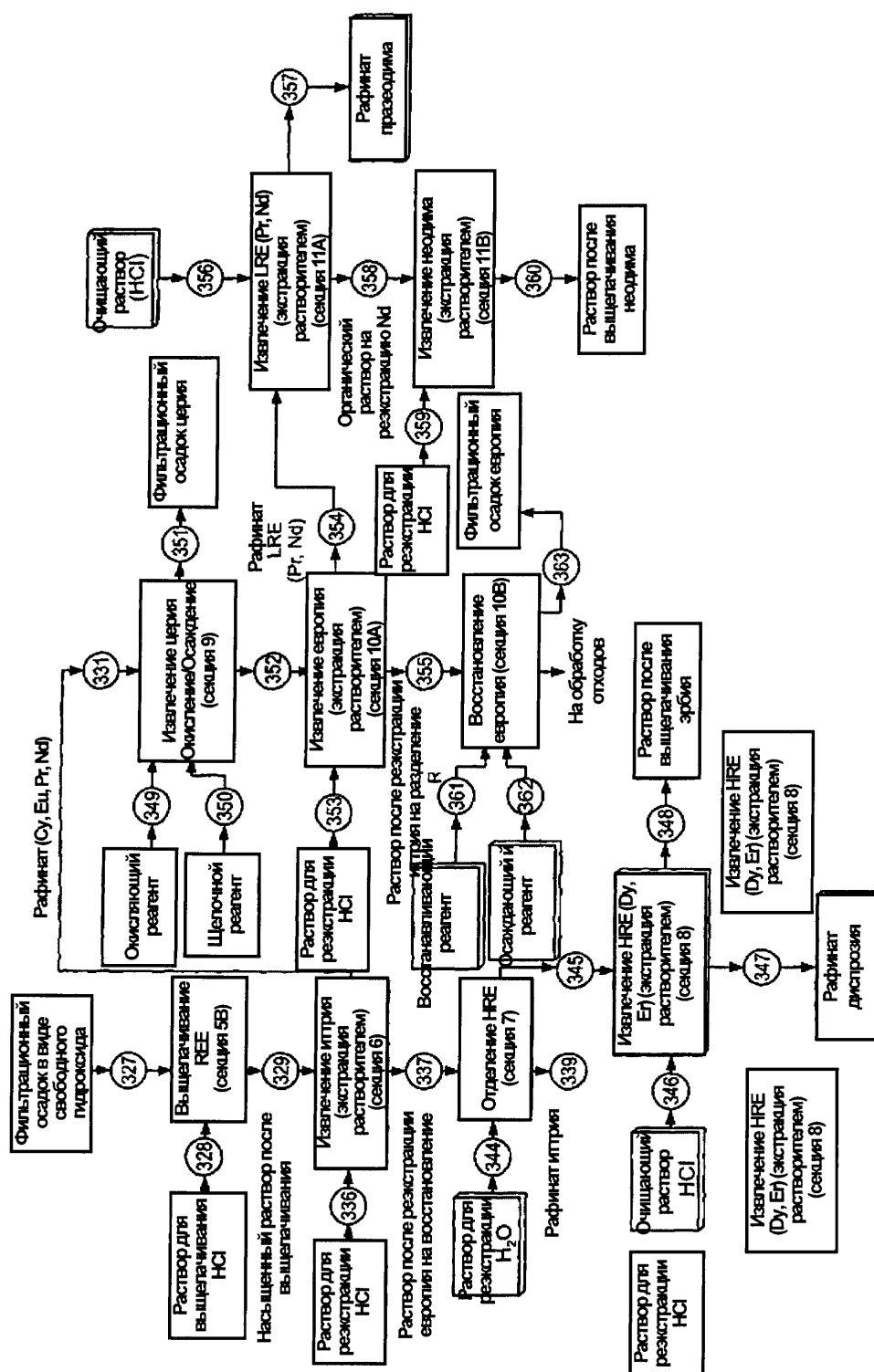
28 / 29



ФИГ. 24



ФИГ. 25



ФИГ. 26