

Научная статья
УДК:669 + 661.8
doi:10.37614/2949-1215.2023.14.1.010

ПОЛУЧЕНИЕ СОЛЕЙ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ И ЖЕЛЕЗА ИЗ ПРОДУКТОВ И ОТХОДОВ МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА

**Александр Георгиевич Касиков¹, Людмила Владимировна Дьякова², Артем Юрьевич Соколов³,
Наталья Станиславовна Арешина⁴**

^{1, 2, 3, 4}*Институт химии и технологии редких элементов и минерального сырья имени
И. В. Тананаева Кольского научного центра Российской академии наук, Апатиты, Россия*

¹*a.kasikov@ksc.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7694-0910>*

²*l.diakova@ksc.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6240-1983>*

³*a.sokolov@ksc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0281-5284>*

⁴*n.areshina@ksc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3157-0546>*

Аннотация

Показана возможность производства солей цветных металлов и железа из промежуточных продуктов и отходов медно-никелевого производства в АО «Кольская ГМК». Приведены технологические схемы и примеры способов получения чистых солей кобальта, никеля и железа с использованием методов жидкостной экстракции.

Ключевые слова:

цветные металлы, железо, высокочистые соли, переработка отходов

Для цитирования:

Получение солей цветных металлов и железа из продуктов и отходов медно-никелевого производства / А. Г. Касиков [и др.] // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2023. Т. 14, № 1. С. 57–63. doi:10.37614/2949-1215.2023.14.1.010

Original article

OBTAINING OF NON-FERROUS METALS AND IRON SALTS FROM PRODUCTS AND WASTE OF COPPER-NICKEL PRODUCTION

Alexandr G. Kasikov¹, Ludmila V. Dyakova², Artyom Y. Sokolov³, Natalia S. Areshina⁴

^{1, 2, 3, 4}*I. V. Tananaev Institute of Chemistry and Technology of Rare Elements and Mineral Raw Materials
of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences, Apatity, Russia*

¹*a.kasikov@ksc.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7694-0910>*

²*l.diakova@ksc.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6240-1983>*

³*a.sokolov@ksc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0281-5284>*

⁴*n.areshina@ksc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3157-0546>*

Abstract

The article shows the possibility of producing non-ferrous metal and iron salts from intermediate products and waste of copper-nickel production in JSC "Kola MMC". Technological schemes and examples of methods for obtaining pure cobalt, nickel and iron salts using liquid extraction methods are given.

Keywords:

non-ferrous metals, iron, high-purity salts, waste processing

For citation:

Obtaining of non-ferrous metals and iron salts from products and waste of copper-nickel production / A. G. Kasikov [et al.] // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2023. Vol. 14, No. 1. P. 57–63. doi:10.37614/2949-1215.2023.14.1.010

Введение

Переработка сульфидного медно-никелевого сырья в АО «Кольская ГМК» предполагает получение металлического никеля, кобальта и меди. Товарная железосодержащая продукция при этом не производится, и все железо полностью теряется с отвальными железистыми шлаками и кеками. В то же время в мире все больше внимания уделяют производству солей цветных металлов и железа из-за их использования в производстве электродных материалов. В первую очередь это касается кобальта, потребление которого только в батарейных материалах составляет более 50 % [1]. Соли кобальта используют также в лакокрасочной и химической промышленности, их применяют в медицине, а также в качестве кормовых добавок, что связано с участием этого элемента в обеспечении многих жизненно важных процессов [2].

В связи с существенным ростом цен на кобальт в мире наметилась тенденция полной или частичной замены в катодных материалах кобальта на Ni, Mn и Fe. На рынке получили распространение смешанные катодные материалы состава Ni : Mn : Co = 0,8 : 0,1 : 0,1; Ni : Co : Mn = 0,6 : 0,2 : 0,2, а также материалы, содержащие алюминий — LiNiCoAlO₂.

При производстве катодных материалов в качестве основного никелевого прекурсора все чаще используют сульфат никеля [3], поэтому современная никелевая промышленность переходит на получение этой соли. В смеси с другими препаратами сульфат используют также в качестве фунгицида для борьбы с различными грибковыми болезнями растений. Никелевый купорос нашел применение в парфюмерной, жировой и химической промышленности как реактив и катализатор. Как следствие, прирост производства никелевой продукции связан с увеличением выпуска его сульфата никеля. В частности, в Китае в 2022 г. объем выпуска этого материала составил 377 тыс. т, что на 31,2 % больше, чем годом ранее [4]. Корейская компания LG Energy Solution (LGES) приступила к строительству в индустриальном парке Batang, в центральной части острова Ява, завода по производству 150 тыс. т сульфата никеля в год. Стоимость проекта оценивается в 3,5 млрд долл. США [5].

Помимо металлической меди в мире в больших объемах производят также медный купорос, который используют для защиты насаждений, в качестве кормовой добавки, как активатор флотации при обогащении руд.

Что касается железа, то большим спросом пользуется хлорное железо, которое применяется в качестве коагулянта, синтезе, для травления поверхности металлов [6]. В последнее время большой сегмент рынка электродных материалов стали занимать катодные материалы на основе LiFePO₄, а для их производства требуются чистые соединения железа.

Очевидно, что для обеспечения промышленности солями требуется организация их производства из отходов и продуктов первичной переработки сульфидных медно-никелевых руд.

В данной работе приводятся результаты получения солей кобальта из гидратных кобальтовых концентратов Кольской ГМК, а также солей никеля, меди и железа из промежуточных продуктов и отходов АО «Кольская ГМК».

Получение солей кобальта

В настоящее время в России соли кобальта в небольших количествах производят из металлического кобальта путем его растворения в азотной кислоте с последующим получением карбоната кобальта и его других солей на заводе «Красный химик». Производство основного карбоната кобальта было также освоено в 1999 г. в АО «Кольская ГМК» по разработанной в Институте химии и технологии редких элементов и минерального сырья имени И. В. Тананаева Кольского научного центра Российской академии наук (ИХТРЭМС КНЦ РАН) экстракционной гидрохлоридной технологии кобальтовых концентратов [7].

Для получения чистого раствора хлорида кобальта(II) концентраты предварительно растворяли в соляной кислоте в присутствии твердофазного восстановителя, а затем проводили экстракционную переработку растворов с применением смесей на основе третичных аминов. Раствор хлорида кобальта использовали для осаждения основного карбоната кобальта(II). С целью получения основного карбоната кобальта(II) с низким содержанием хлора его осаждение согласно способа [8] проводили при подаче хлорида кобальта в раствор карбоната натрия при интенсивном перемешивании. Полученный карбонат кобальта поступал на экспорт, а также использовался на Ангарском заводе для синтеза кобальтовых катализаторов. Принципиально карбонат мог использоваться для получения оксида кобальта и других солей этого элемента.

Для синтеза других растворимых солей кобальта из растворов его хлорида использовали метод экстракционной конверсии, причем было разработано два способа [9]. В соответствии с первым способом конверсию хлорида кобальта осуществляли с использованием катионообменного экстрагента в солевой форме. При экстракции Co переходил в органическую фазу, из которой его реэкстрагировали кислотой, включая серную кислоту. Особенностью второго способа получения сульфата кобальта являлось использование для получения только одного вида экстрагента — третичного амина. В соответствии с разработанным способом [10] на первой стадии использовали амин в хлоридной форме и получали

очищенный раствор его хлорида. Далее из раствора извлекали из раствора ионы хлора третичным амином в сульфатной форме. В результате амин из сульфатной формы переходил в хлоридную, а хлорид кобальта конвертировался в сульфат. Особенностью способа при конверсии хлорида кобальта в сульфат являлось то, что в качестве растворителя третичного амина использовали алифатический спирт, который препятствовал экстракции кобальта, но не влиял на обменную реакцию сульфата на хлорид. В результате лабораторных экспериментов методами катионообменной и анионообменной экстракции получены кобальтовые соли по содержанию никеля, соответствующие марке «чда». Содержание других примесей составило, г·л⁻¹: Cl — 0,005, Na — 0,003, суммы Cu и Fe ≤ 0,0005 — и находилось в пределах, допустимых соответствующими ГОСТами на данную продукцию.

Получение солей никеля

В отличие от кобальта никель не образует устойчивых хлоридных комплексов и поэтому не может быть извлечен из хлоридных растворов с использованием третичных аминов. Получить соли никеля возможно из металлического Ni путем его растворения в кислотах. Однако растворение стружки никеля в серной кислоте идет крайне медленно даже в присутствии пероксида водорода. Скорость процесса удалось существенно интенсифицировать только при использовании для растворения карбонильного никелевого порошка. Карбонильный порошок является наиболее чистой продукцией Кольской ГМК, и поэтому при растворении его в серной кислоте марки «осч» после дополнительной доочистки раствора от железа нами получен высокочистый сульфат никеля. Однако очень высокая стоимость карбонильных никелевых порошков делает производство такого сульфата слишком дорогостоящим. В отличие от серной кислоты растворение Ni-стружки в соляной кислоте идет быстрее, но даже при нагревании в концентрированной кислоте процесс оказывается очень медленным из-за выделения водорода. Пропускание через кислоту воздуха или хлора не привело к существенному увеличению скорости процесса, так как окислители не успевали прореагировать с металлом. Существенно повысить скорость растворения удалось за счет введения в раствор катионов железа [11]. В присутствии ионов железа(II) хлор мгновенно окислял его до железа(III), которое, в свою очередь, интенсивно взаимодействовало с никелем. После достижения в растворе выщелачивания концентрации никеля 300–350 г·л⁻¹ проводили очистку раствора от железа и после охлаждения кристаллизовали шестиводный хлорид никеля, который представлен на рис. 1.

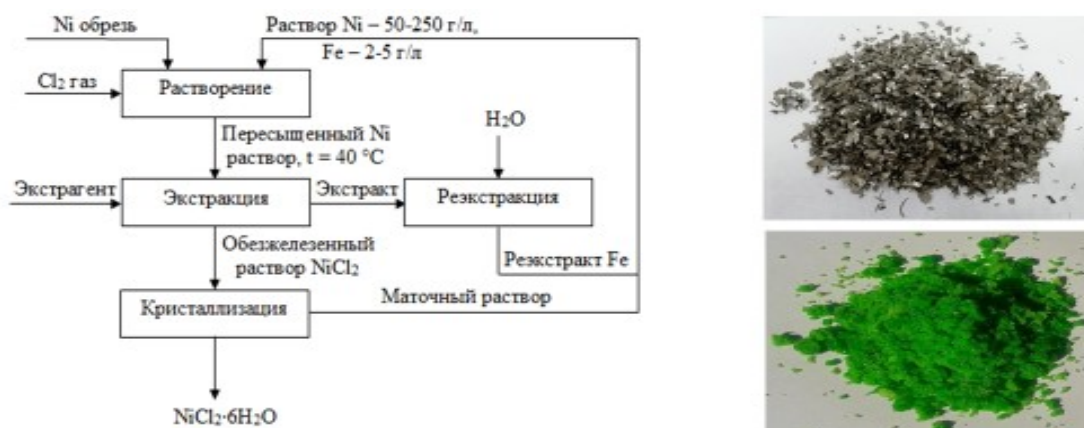


Рис. 1. Схема получения хлорида никеля из измельченной никелевой обрезки

Хлорид никеля находит применение в гальванотехнике, а также востребован в химической промышленности и в производстве керамических изделий. Однако спрос на сульфат никеля существенно выше, в первую очередь, из-за его использования в батарейных материалах. По аналогии с кобальтом сульфат никеля мы получали также путем экстракционной конверсии после экстракции никеля катионообменным экстрагентом из раствора его хлорида или за счет анионного обмена ионов хлора на сульфат-ионы.

Очевидно, что снизить затраты на получение сульфата никеля можно, если проводить его экстракцию не из чистого хлорида, а из промежуточных продуктов медно-никелевого производства. В частности, с использованием экстракции никеля недекановой кислотой, приготовленной в натриевой форме, нами был получен чистый сульфат никеля из фильтрата кобальтоочистки Кольской ГМК. Технология прошла укрупненные лабораторные испытания, в ходе которых наработана опытная партия соли марки «хч» [12]. Недостатком данного способа является высокий расход натриевой щелочи, стоимость которой высока.

Избежать высоких затрат на щелочь возможно, если не проводить экстракцию всей массы никеля, а очистить никелевый раствор от примесей таким образом, чтобы был получен чистый раствор сульфата никеля. Нами показано, что возможно провести очистку сульфатно-хлоридных растворов никелевого производства от примесей хлора, цветных металлов, кальция, магния и бора. Однако отделить натрия от никеля, не экстрагируя последний, не представляется возможным.

Снизить стоимость исходного сырья для получения сульфата никеля и избежать экстракции никеля возможно, если использовать в качестве исходного раствора отсечные растворы медного производства. Эти растворы, с целью вывода из медного производства части примесей, вынуждены направлять в никелевое производство, где они проходят все стадии очистки и используются для получения электролитного никеля. Особенностью этих растворов является то, что они практически не содержат натрия и хлорид-ионов, но содержат много меди. Для получения чистого сульфата никеля из отходов медного производства нами предложена схема, представленная на рис. 2.

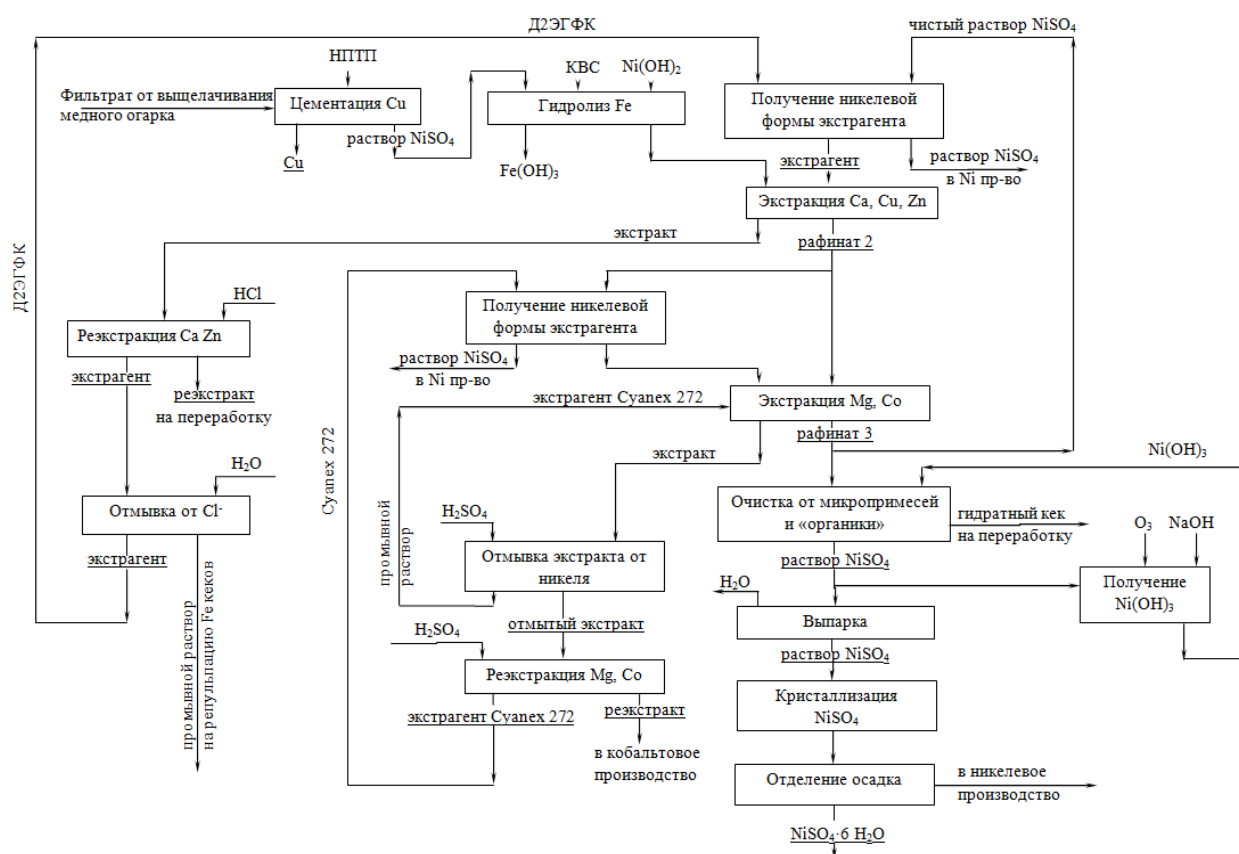


Рис. 2. Перспективная технологическая схема получения сульфата никеля из раствора медного производства

Согласно схеме, первой стадией является проведение обменной операции меди на никель. Никель в виде никелевого порошка трубчатых печей (НПТП) как более активный металл вытесняет из раствора медь. В результате в растворе остаются лишь микропримеси меди, железа, кобальта, кальция

и магния. Далее, после гидролитической очистки от железа, из раствора с помощью ди-2-этилгексилфосфорной кислоты удаляются остатки меди, кальций и цинк. Затем из частично очищенного рафината проводится экстракция кобальта. После экстракции кобальта и магния получается чистый раствор сульфата никеля. Для обеспечения высокой чистоты сульфата предлагается проводить его дополнительную очистку от органических примесей с помощью гидроксида никеля(III). После выпарки очищенного раствора из него кристаллизуется чистая соль никеля, в частности семиводный сульфат никеля, который пользуется большим спросом. Данная схема прошла лишь частичную проверку, однако ее реализация могла бы позволить получить из отхода медного производства чистый сульфат никеля.

Получение сульфата меди

В настоящее время в России медный купорос производится на семи медных заводах. Чаще всего стараются получать высокомарочный купорос, так как он используется в сельском хозяйстве. Медный купорос также рекомендуется выделять для стабилизации работы переделов электрорафинирования меди и никеля, при этом нет необходимости получать высококачественную соль [13]. Как нами было показано ранее [14], применение медного купороса в качестве флотореагента также не требует получения чистого сульфата меди, так как примеси не оказывают влияния или даже улучшают показатели флотационного извлечения цветных металлов из сульфидных медно-никелевых руд. В связи с чем для получения технического купороса можно использовать не только медный электролит, но и фильтрат от выщелачивания медного огарка (см. рис. 2), а также тонкую обжиговую пыль медного производства [14].

Получение солей железа

В настоящее время в Кольской ГМК все присутствующее в растворах никелевого производства железо извлекается в виде железистого кека, который после многочисленных репульпаций направляется в отвал, хотя может содержать несколько процентов цветных металлов.

Наши исследования показали, что применение жидкостной экстракции железа(III) алифатическими кетонами и их смесями со спиртами из хлоридных никелевых растворов от выщелачивания НППП и магнитной фракции никелевого концентрата позволяет извлечь из растворов основную часть железа и получить растворы хлорного железа реактивной чистоты [15]. Также установлено, что вместо гидролитической очистки раствора от железа (см. рис. 2) его можно селективно проэкстрагировать с помощью технической Д2ЭГФК и далее получить из реэкстракта после фотохимического восстановления оксалат железа(II), который является прекурсором при получении литийжелезофосфатного катодного материала [16]. Также высокочистые соединения железа были получены из остатков дожигания карбонильного никеля, которые в настоящее время после гранулирования вынуждены перерабатывать пирометаллургическим способом, что приводит к обогащению никелевого сырья железом.

Заключение

Анализ работы металлургических предприятий за рубежом показывает, что при производстве цветных металлов с каждым годом возрастает доля получения металлов в виде их солей и чистых соединений, причем наибольшим спросом пользуются сульфаты никеля и кобальта, которые применяются в качестве прекурсоров в производстве аккумуляторных батарей, вследствие чего в ближайшее время прогнозируется рост цен на кобальт и его соединения [17]. Отсутствие производства солей никеля и кобальта в России в больших количествах порождает их дефицит и требует закупки за рубежом. В условиях санкций и сложной логистики поставок существует острая необходимость организации их получения в России. Нами показано, что с использованием методов жидкостной экстракции чистые соли никеля, кобальта и железа могут быть успешно получены из отходов и промежуточных продуктов Кольской ГМК, однако разработанные способы требуют еще оптимизации и проверки в опытно-промышленном масштабе.

Список источников

1. Cobalt Market Report 2021 / Cobalt institute. Guildford, Great Briton, May 2022, 46 p.
2. Микроэлементозы человека / А. П. Авцын [и др.]. М.: Медицина, 1991. 496 с.
3. Корнеев С. И. Никель и электромобиль — совместные перспективы // Цветные металлы. 2018. № 7. С. 17–18.

4. Мировой рынок никеля идет от дефицита к избытку [Электронный ресурс] // ИИС «Металлоснабжение и сбыт». URL: <https://www.metalinfo.ru/ru/news/144192> (дата обращения: 20.01.2023).
5. Корейская LG создаст в Индонезии вертикально интегрированный никелевый комплекс [Электронный ресурс] // ИИС «Металлоснабжение и сбыт». URL: <https://www.metalinfo.ru/ru/news/137775> (дата обращения: 20.01.2023).
6. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС34-2017. Производство прочих основных неорганических веществ. М.: Бюро НДТ, 2017. 350 с.
7. Kasikov A. G. Advances in Kola Cobalt Production Technology: An 80-Year Journey // *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. 2021. Vol. 55. pp. 1062–1068.
8. Пат. 2240287 РФ, МПК7 C 01 G 51/06. Способ получения карбоната двухвалентного кобальта / Касиков А. Г. [и др.]; Ин-т химии и технологии редких элементов и минерального сырья Кол. науч. центра РАН. № 2003107372/15; заявл. 17.03.2003; опубл. 20.11.2004, Бюл. № 32.
9. Kasikov A. G., Dyakova L. V., Bagrova E. G. Preparation of cobalt(II) salts by extractive conversion // *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. 2016. Vol. 50. pp. 836–840.
10. Пат. 2489502 РФ, МПК C22B 3/28, 3/40 (2006.01). Способ конверсии хлорида металла в его сульфат / Касиков А. Г.; Ин-т химии и технологии редких элементов и минерального сырья Кол. науч. центра РАН. № 2012122236/02; заявл. 29.05.12; опубл. 10.08.2013, Бюл. № 22.
11. Kasikov A. G., Dyakova L. V., Khomchenko O. A. An Extraction Technology for Nickel Sulfate Production from Nickel Solutions Produced by the Kola MMC // *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. 2022. Vol. 56. pp. 589–594.
12. Пат. № 2711068 РФ МПК C01G 53/09 C22B 7/00 C22B 1/08 (2006.01). Способ получения хлорида никеля / Касиков А. Г., Кшуманева Е. С., Соколов А. Ю.; Федер. гос. бюджетное учреждение науки Федер. исследоват. центр «Кольский научный центр РАН» (ФИЦ КНЦ РАН). № 2019122228; заявл. 11.07.2019; опубл. 15.01.2020, Бюл. № 2.
13. Шульга Е. В., Юрьев А. И., Девочкин А. И., Садыков Р. Р., Куликов Д. П. Производство медного купороса, как способ стабилизации работы переделов электрорафинирования меди и никеля // *Цветные металлы*. 2013. № 6. С. 68–73.
14. Касиков А. Г. Утилизация и комплексная переработка промежуточных продуктов и отходов медно-никелевого производства / А. Г. Касиков, Н. С. Арешина. Апатиты: Изд. ФИЦ КНЦ РАН, 2019. 196 с.
15. Kasikov A., Sokolov A., Shchelokova E. Extraction of Iron(III) from Nickel Chloride Solutions by Mixtures of Aliphatic Alcohols and Ketones // *Solvent Extraction and Ion Exchange*. 2022. Vol. 40. Is. 3. pp. 251–268.
16. Чуриков А. В., Леенсон И. А. Об использовании оксалата железа $\text{FeC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ для синтеза электродного материала LiFePO_4 // *Электрохимическая энергетика*. 2012. Т. 12, № 1. С. 14–20.
17. Кибовская А. Fitch прогнозирует рост цен на кобальт в ближайшие 3-5 лет [Электронный ресурс] // GMK Center. URL: <https://gmk.center/news/fitch-prognoziruuet-rost-cen-na-kobalt-v-blizhajshie-3-5-let/> (дата обращения: 23.01.2023).

References

1. Cobalt Market Report 2021. Cobalt institute. Guildford, Great Briton, May 2022, 46 p.
2. Avsyn A. P., Zhavoronkov A. A., Rish M. A., Strohokova L. S. *Mikrojelementozy cheloveka* [Human microelementoses]. Moscow, Medicine, 1991, 496 p. (In Russ.).
3. Korneev S. I. Nikel' i elektromobil' — sovместnye perspektivy [Nickel and electric car — joint perspectives]. *Cvetnye metall* [Nonferrous Metals], 2018, No 7, pp. 17–18. (In Russ.).
4. *Mirovoj ryнок nikelja idet ot deficita k izbytku* [The global nickel market goes from deficit to surplus]. IIS “Metallosnabzhenie i sbyt” [IIS Metal supply and sales]. (In Russ.). Available at: <https://www.metalinfo.ru/ru/news/144192> (accessed 20.01.2023).
5. Korejskaja LG sozdast v Indonezii vertikal'no integrirovannyj nikel'nyj kompleks [Korean LG will create a vertically integrated nickel complex in Indonesia]. IIS “Metallosnabzhenie i sbyt” [IIS Metal supply and sales]. (In Russ.). Available at: <https://www.metalinfo.ru/ru/news/137775> (accessed 20.01.2023).
6. Informacionno-tehnicheskij spravochnik po nailuchshim dostupnym tehnologijam ITS34-2017. Proizvodstvo prochih osnovnyh neorganicheskikh veshhestv [Information and Technical Guide to Best Available Techniques ITS34-2017. Production of other basic inorganic substances]. Moscow, Bjuro NDT, 2017, 350 p. (In Russ.).
7. Kasikov A. G. Advances in Kola Cobalt Production Technology: An 80-Year Journey. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 2021, Vol. 55, pp. 1062–1068.
8. Pat. 2240287 RF, МПК7 C 01 G 51/06. Sposob poluchenija karbonata dvuhvalentnogo kobal'ta [Bivalent cobalt carbonate production method]. A. G. Kasikov, A. A. Ankhimov, K. A. Demidov, E. S. Kshumaneva, L. M. Romanova, V. R. Spiridonova, G. I. Subach, O. A. Khomchenko. Institut himii i tehnologii redkih jelementov i mineral'nogo syr'ja Kolskogo nauchogo centra RAN [Tananaev Institute of Chemistry — Subdivision of the Federal Research

- Centre “Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences”], No 2003107372/15; zajavl. 17.03.2003; opubl. 20.11.2004, Bjul. No. 32. (In Russ.).
9. Kasikov A. G., Dyakova L. V., Bagrova E. G. Preparation of cobalt(II) salts by extractive conversion. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 2016, Vol. 55, pp. 836–840.
 10. Pat. 2489502 RF, MPK C22V 3/28, 3/40 (2006.01). Sposob konversii hlorida metalla v ego sul'fat [Method of converting metal chloride to its sulphate]. Kasikov A. G.; Institut himii i tehnologii redkih jelementov i mineral'nogo syr'ja Kolskogo nauchogo centra RAN [Tananaev Institute of Chemistry — Subdivision of the Federal Research Centre “Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences”], No 2012122236/02; zajavl. 29.05.12; opubl. 10.08.13, Bjul. No. 22. (In Russ.).
 11. Kasikov A. G., Dyakova L. V., Khomchenko O. A. An Extraction Technology for Nickel Sulfate Production from Nickel Solutions Produced by the Kola MMC. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 2022, Vol. 56, pp. 589–594.
 12. Pat. 2711068 RF MPK C01G 53/09 C22B 7/00 C22B 1/08 (2006.01) Sposob poluchenija hlorida nikelja [Nickel chloride production method]. Kasikov A. G., Kshumaneva E. S., Sokolov A. Yu.; Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe uchrezhdenie nauki Federal'nogo issledovatel'skogo centr “Kol'skij nauchnyj centr RAN” (FIC KNC RAN). [Federal State Budgetary Institution of Science Federal Research Center “Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences” (KSC RAS)], No 2019122228; zajavl. 11.07.2019; opubl. 15.01.2020, Bjul. No 2. (In Russ.).
 13. Shul'ga E. V., Jur'ev A. I., Devochkin A. I., Sadykov R. R., Kulikov D. P. Proizvodstvo mednogo kuporosa, kak sposob stabilizacii raboty peredelov elektrorafinirovanija medi i nikelja [Production of copper sulphate as a way to stabilize the operation of copper and nickel electrorefining stages]. *Cvetnye metally* [Nonferrous Metals], 2013, No 6, pp. 68–73. (In Russ.).
 14. Kasikov A. G., Areshina N. S. *Utilizacija i kompleksnaja pererabotka promezhutochnyh produktov i othodov medno-nikelevogo proizvodstva* [Utilization and complex processing of intermediate products and wastes of copper-nickel production]. Apatity, Izdatel'stvo FIC KNC RAN, 2019, 196 p. (In Russ.).
 15. Kasikov A., Sokolov A., Shchelokova E. Extraction of Iron(III) from Nickel Chloride Solutions by Mixtures of Aliphatic Alcohols and Ketones. *Solvent Extraction and Ion Exchange*, 2022, Vol. 40, Is. 3. pp. 251–268.
 16. Churikov A. V., Leenson I. A. Ob ispol'zovanii oksalata zheleza $\text{FeC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dlja sinteza jelektrodnogo materiala LiFePO_4 [On the use of ferrous oxalate $\text{FeC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ for the synthesis of electrode material LiFePO_4]. *Elektrohimicheskaja jenergetika* [Electrochemical energetics], 2012, Vol. 12, No 1, pp. 14–20. (In Russ.).
 17. Kibovskaja A. Fitch prognoziruet rost cen na kobalt' v blizhajshie 3–5 let [Fitch sees cobalt prices rising over next 3–5 years]. GMK Center. (In Russ.). Available at: <https://gmk.center/news/fitch-prognoziruet-rost-cen-na-kobalt-v-blizhajshie-3-5-let/> (accessed 23.01.2023).

Информация об авторах

А. Г. Касиков — кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией;
Л. В. Дьякова — кандидат технических наук, старший научный сотрудник;
А. Ю. Соколов — аспирант, инженер-исследователь;
Н. С. Арешина — кандидат технических наук, старший научный сотрудник.

Information about the authors

A. G. Kasikov — PhD (Chemistry), Leading Researcher;
L. V. Dyakova — PhD (Technic), Senior Researcher;
A. Y. Sokolov — PhD Student, Research Engineer;
N. S. Areshina — PhD (Technic), Senior Researcher.

Статья поступила в редакцию 26.01.2023; одобрена после рецензирования 31.01.2023; принята к публикации 01.02.2023.
The article was submitted 26.01.2023; approved after reviewing 31.01.2023; accepted for publication 01.02.2023.