

10. Izatt Steven, R. et al. The Application of Molecular Recognition Technology (MRT) for the Removal of Uranium and Other Significant Impurities Such as Iron and Copper from Uranium Solution Matrices — Proceedings of ALTA 2008 Uranium Conference, 19–20 June 2008, Perth, Australia — ALTA Free Library, [Электронный ресурс]. URL: <http://www.altamet.com.au> (дата обращения: 25.02.2019).
11. Izatt Steven, R. et al. White Paper on Separation of Rare Earth Elements, February 20, 2016 — Molecular Recognition Technology: A Green chemistry Process for Separation of Individual rare earth Metals [Электронный ресурс]. URL: https://ucore.com/documents/WhitePaper_REE_Separations.pdf (дата обращения: 03.03.2019).
12. Lillkung, K. Hydrometallurgical recovery of platinum group metals (Aalto University publication series SCIENCE + TECHNOLOGY 17/2012) / K. Lillkung, J. Aromaa [Электронный ресурс]. URL: www.aalto.fi (дата обращения: 28.02.2019).
13. SuperLig Products. Selective Separations [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ibcmrt.com/products/superlig/> (дата обращения: 06.10.2018).
14. The Nobel Prize in Chemistry 1987 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1987/summary/> (дата обращения: 19.01.2019).
15. Ventura, S. Geothermal Technologies Office 2015 Peer Review — Selective Recovery of Metals From Geothermal Brines –Track: Low Temperature; Metal Recovery; Project Officer: Holly Thomas; Total Project Funding: \$500,000 (May 12, 2015) — US DOE Geothermal Office [Электронный ресурс]. URL: <http://eege.energy.gov> (дата обращения: 03.06.2019).

© Коллектив авторов, 2020

Курков Александр Васильевич // kurkov@vims-geo.ru
 Мамошин Михаил Юрьевич // luiso_lucciccio@mail.ru
 Ануфриева Светлана Ивановна // anufrieva.05@mail.ru
 Авдониин Геннадий Иванович // gosha1956@mail.ru

УДК 622.7.017:622.349.4

Левченко Е.Н. (ФГБУ «ИМГРЭ»)

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ НЕКОНДИЦИОННЫХ ТИТАНОВЫХ И ЦИРКОНИЕВЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ И ПОЛУЧЕНИЕ ЛИКВИДНЫХ ТОВАРНЫХ ПРОДУКТОВ

*В статье дана характеристика качества титановых и циркониевых концентратов, полученных при обогащении россыпных месторождений России. Проведен анализ причин несоответствия их качества требованиям потребителей. Приведены примеры разработки инновационных технологий переработки некондиционных титановых и циркониевых минеральных концентратов и получения ликвидных товарных продуктов. **Ключевые слова:** ильменит, рутил, циркон, бадделейт, инновационные технологии.*

Levchenko E.N. (IMGRE)

INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR PROCESSING NON-CONDITIONAL TITANIUM AND ZIRCONIUM MINERAL CONCENTRATES AND PRODUCTION OF LIQUID COMMODITY PRODUCTS

The article describes the quality characteristics of titanium and zirconium concentrates obtained in the enrichment of placer deposits in Russia. The analysis of the reasons for the

*discrepancy of their quality to the requirements of consumers. Examples of developed developments of innovative technologies for processing substandard titanium and zirconium mineral concentrates and obtaining liquid marketable products are given. **Keywords:** ilmenite, rutile, zircon, baddeleyite, innovative technologies.*

По запасам титана и циркония Россия занимает одно из ведущих мест в мире. В России имеются достаточно хорошо разведанные россыпные месторождения редкометалльно-титановых руд. К ним относятся: Тарское (Омская область), Туганское и Георгиевское (Томская область), Центральное (Тамбовская область), Лукояновское (Нижегородская область) и ряд других. Однако ни одно из отечественных россыпных титан-циркониевых месторождений в настоящее время не разрабатывается.

Россыпные титан-циркониевые месторождения России по уровням концентрации рудных минералов и их запасам в основном сопоставимы с зарубежными месторождениями. Основными товарными концентратами россыпных месторождений являются ильменитовый (ИК), рутиловый (РК) и цирконовый (ЦК). Их качество регламентируется в основном требованиями действующих ГОСТ'ов, ОСТ'ов и ТУ, разработанных в 1970–1980-годах применительно к качеству концентратов, производимых на ВГДМК. Большинство их, по-видимому, устарело, но разработка новых трудоемка и осуществляется лишь в исключительных случаях.

На всех изученных отечественных объектах полученные цирконовые концентраты соответствуют требованиям промышленности. Основная часть производимого циркониевого сырья (85–90 %) используется в минеральной форме в виде циркона, 10–15 % приходится на производство диоксида циркония, металлического циркония и различных соединений. Общий недостаток цирконовых концентратов, обуславливающий их несоответствие требованиям к качеству, — повышенная радиоактивность, вызванная как содержанием урана и тория в самом цирконе, особенно в метамиктных его разновидностях, так и загрязнением концентрата радиоактивным монацитом. Повышенной радиоактивностью отличаются концентраты Центрального и Тарского месторождений, в минеральном составе которых присутствует метамиктный циркон, а в первом из них также монацит с аномально высоким содержанием тория. По лимитируемым примесям для марки КЦЗ наилучшие позиции занимают цирконовые концентраты Бешпагирского и Лукояновского месторождений (в Бешпагирском лишь несколько превышено содержание железа), наихудшие — цирконовые концентраты Центрального и Тарского.

С титаном, как в России, так и в мире, сегодня связывается разработка целого спектра отдельных современных технологий и производства высокотехнологичной продукции в области машиностроения, медицины, космоса, атомной промышленности, энергетики и т.д.

Преобладающая часть (до 95 %) производимого в мире титанового сырья из природных рутиловых/ильменитовых концентратов используется для производства диоксида титана, в том числе пигментного (89 %).

В промышленности диоксид титана (TiO₂) получают двумя способами: *сульфатным* и *хлоридным* в пропорции 56 и 44 %. Оба способа весьма сложны в технологическом плане и небезопасны в экологическом. К тому же хлоридный способ, в отличие от серно-кислотного, требует более высоких экономических затрат. Однако качество TiO₂, получаемого хлоридным способом выше, чем у получаемого сернокислотным методом. Имеется много вариантов усовершенствований способа, что вызвано исключительной сложностью хлоридной технологии.

Выбор способа вскрытия концентрата определяет характер последующих технологических операций. В свою очередь он зависит от химических и физических свойств рудного сырья, потребности в конкретной продукции и экономических показателей (табл. 1).

Требования к ильменитовому концентрату всех марок регламентируют содержание TiO₂, к концентрату марок КИИ, КИЛ, КИМ, кроме того, — содержание P₂O₅ и Cr₂O₃, а для сорта, пригодного для металлургической переработки, который выпускается на ВДГМК, — содержание SiO₂ и Al₂O₃. Содержание ZrO₂ и Fe₂O₃ не нормируется (табл. 2).

Из данных табл. 2 следует, что ильменитовые концентраты всех месторождений не достигают полного соответствия требованиям всех марок. По содержанию TiO₂ не соответствует ни одной из марок только ильменитовый концентрат Ордынского месторождения (не считая Лукояновского), которое от всех других объектов отличается наиболее низким содержанием TiO₂ в ильмените — 50,1 % (ниже теоретического) по сравнению с Бешпагирским (55,5 %), Тарским (58,3 %), Туганским (59,2 %) и Центральным (61,4 %). В Тарской россыпи пониженное содержание оксида титана в ильменитовых концентратах связано с высоким содержанием (до 10 %) измененного (гемма-

Таблица 1
Общие требования к качеству исходного сырья для производства титанового пигмента

Качественные параметры	Хлоридная технология	Сульфатная технология
Параметры химического состава		
Важные показатели	Низкое содержание Ca и Mg Низкоумеренное содержание Mn Низкая радиоактивность U, Th, Ra	Высокая активность в кислоте (высокое соотношение FeO/Fe ₂ O ₃) Низкое содержание Cr, V Низкоумеренная радиоактивность U, Th, Ra
Предпочтительные (желательные) показатели	Высокое содержание TiO ₂ Низкое содержание примесных оксидов (Fe, Al, Si)	Низкая кислотная нерастворимость
Физические параметры		
Важные показатели	Размер частиц ≥ 100 мкм и < 300 мкм	Физические свойства не важны
Предпочтительные (желательные) показатели	Высокая относительная плотность Высокая прочность частиц	

Таблица 2
Качество ильменитовых концентратов балансовых месторождений России

Показатели	для пигмента		для титанового шлака		Бешпагирское	Центральное	Ордынское	Тарское	Туганское	Правобережный	Степная
	ТУ-48-4-236-72 (марки КИИ, КИЛ)	ТУ-48-4-267-73	ТУ-48-4-267-74								
TiO ₂	54-57	54-56	52-62	> 63,2	62,2	57,52	47,3	52,2	59,2	53,32	51,66
SiO ₂	не норм.	не норм.	не норм.	≤ 1,85	1,1	2,39	1,1	0,92	1,1	0,6	1,83
P ₂ O ₅	≤ 0,13	≤ 0,2	не норм.	не норм.	0,05	0,31	0,1	0,08	0,163	0,012	0,22
Cr ₂ O ₃	≤ 0,05	≤ 0,1	не норм.	не норм.	0,11	0,36	1,3	0,79	0,393	0,039	0,3
Al ₂ O ₃	не норм.	не норм.	не норм.	≤ 2,9	0,88	0,98	2,1	0,86	1,52	1,41	2,02
SO ₃						0,12					—
Fe ₂ O ₃	не норм.	не норм.	не норм.			0,07		н/а			47,3
экв.%Th	0,1 экв. %Th*				0,002	0,0036	0,0029	0,0027	0,0036	0,0036	0,0058

Примечание. Затушевано — несоответствие требованиям всех марок, жирно — несоответствие требованиям к отдельным маркам.
*ОСТ-48-82-81, требования НРБ-99

тизированного) ильменита. В ильмените Ордынского и Центрального месторождений отмечается высокое содержание оксида хрома, сужающее области его применения. В ильмените Тарского месторождения оно невысоко, однако в минеральном составе содержатся в значимом количестве хромшпинелиды, и отделить их от измененного ильменита не всегда удастся. Отмечено также наличие микровключений хромита в ильмените. Примесями хромшпинелидов обусловлено и повышенное содержание Al_2O_3 , однако по его содержанию ильменит всех месторождений соответствует требованиям стандартов. Содержание фосфора в ильменитовых концентратах Центрального и Малышевского месторождений (0,3 % P_2O_5) согласуется с данными химического состава ильменита, в ильменитах других месторождений фосфор не обнаружен.

Содержание вредных примесей возможно в двух формах: либо в форме высокого содержания вредного компонента в самом минерале, либо за счет примесей других минералов в концентрате с высоким содержанием лимитируемого компонента. Во втором случае возможна дальнейшая работа с концентратами с целью их доочистки либо глубокой переработки и получением продуктов следующих стадий передела с высокой добавленной стоимостью на основе инновационных технологий.

Изменчивость состава и наличие минералов-включений с изменяющимися физическими характери-

стиками приводят к засорению концентратов и снижению их качества (рис. 1, 2).

Для эффективной химической переработки ильменитового концентрата серноокислым способом нужен неизменный ильменит. Для ильменитов, поступающих на получение пигментов по хлорной технологии, фазовый состав ильменита не имеет значения, так как по этой технологии необходима плавка на шлак.

Лукояновское месторождение (Нижегородская область) может быть вовлечено в промышленную переработку как один из крупнейших источников циркониевого и титансодержащего сырья. Итмановский участок месторождения является самым богатым по содержанию циркона в руде (до 24 кг/м³) из всех известных месторождений на территории РФ. Однако разработанная технология обогащения рудных песков Итмановской россыпи не позволяет получить высококачественный ильменитовый концентрат из коллективного ильменит-хромит-гематитового продукта (ИХГ) вследствие близких физических свойств (плотность, электропроводимость, магнитная восприимчивость).

Ильменит, близкий по составу к теоретическому ($FeTiO_3$) с содержанием 52,7 % TiO_2 , 47,3 % FeO , встречается редко. Это — минерал переменного состава, обычно представляющий собой твердые растворы $FeTiO_3$ - $MgTiO_3$ - $MnTiO_3$ - MO_3 (где М — Fe^{3+} , Cr^{3+} , Al^{3+} и др.) с непрерывным изовалентным изоморфизмом

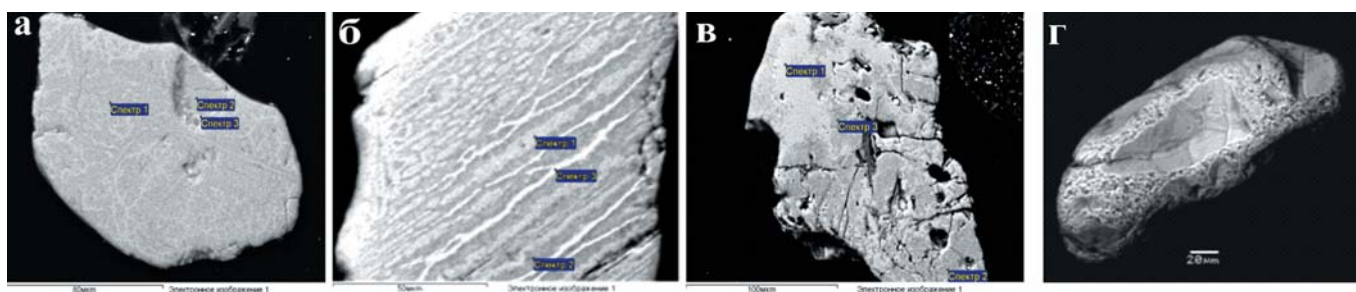


Рис. 1. Разновидности неизмененных ильменитов в титан-циркониевых россыпях: а — ильменит «дендритовидный», б — тонкослоистый ильменит, в — ильменит с пирофанитовой компонентой (Mn до 2,71 масс. %), г — зерно ильменита устойчивого состава с примесью 1,9 % Mn

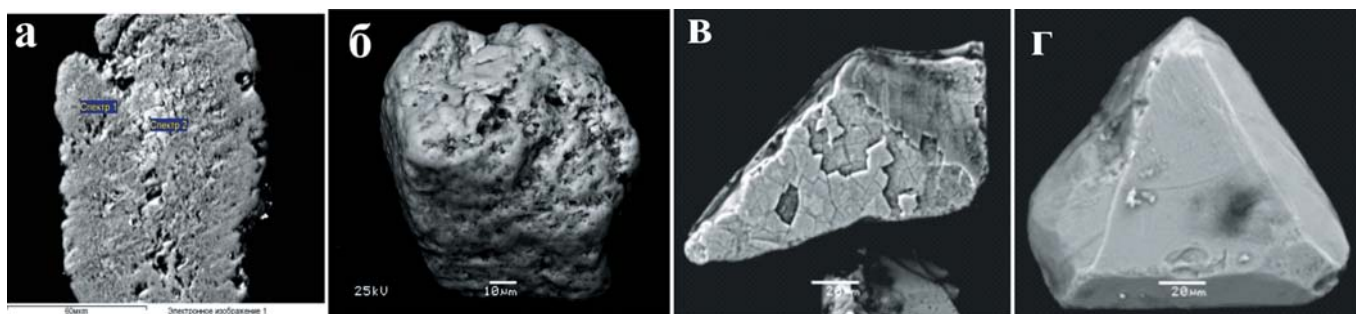


Рис. 2. Разновидности измененных ильменитов в титан-циркониевых россыпях: а — лейкоксенизированный ильменит (процесс лейкоксенизации идет от периферии к центру, происходит вынос Fe и обогащение Mg, Al, Si), б — лейкоксенизированный ильменит с примесью Mn (TiO_2 — 73,9 %, MnO — 4,4 %). (Тарское месторождение), постседиментационные новообразования на поверхности титановых минералов: в — железомарганцевые корки на поверхности ильменита, г — минералы из группы танталониобатов на поверхности ильменорутила

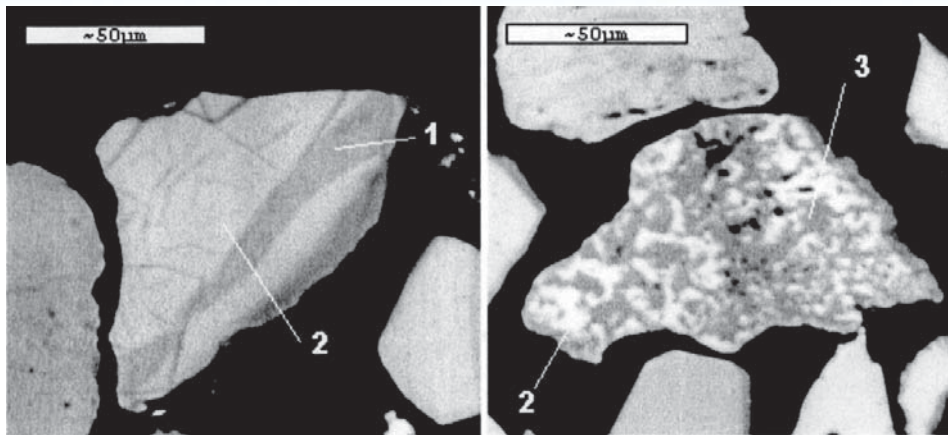


Рис. 3. Структуры распада твердых растворов (Лукояновское месторождение):
 а) — ильменит (1) — титаномагнетит (2), б) — рутил (3) — титаномагнетит (2)

Fe^{2+} , Mg, Mn и ограниченным гетеровалентным изоморфизмом $M^{2+} Ti^{4+} \leftrightarrow M^{3+} M^{3+}$.

Одной из форм выделения ильменита являются продукты распада твердого раствора (рис. 4), образующие пластинчатые и решетчатые структуры в титаномагнетите и гематите, реже он встречается в виде включений в шпинели и хромите.

Поиск путей наиболее эффективного использования этого нестандартного продукта обогащения рудных песков и испытания по переработке на различные товарные продукты много лет проводились в институтах Гиредмет, ИМЕТ АН СССР, ЦНИИЧЕРМЕТ и многих других научно-исследовательских организациях.

Выход ИХГ-продукта составляет 8,1 % от исходной руды и более 75 % от массы черного коллективного концентрата. Отсутствие технических решений, позволяющих переработать некондиционный ИХГ-продукт, является основной причиной, препятствующей освоению этого месторождения.

В «Лаборатории инновационных технологий» Института химии АН Дальневосточного филиала (г. Владивосток) в 2005 г. была разработана фторидная технология разделения ИХГ продукта. В результате лабораторных исследований были получены пигмент титана, пигмент железа и хромпик.

Проведенные в 2016 г. комплексные экспериментальные исследования, проведенные в ОАО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова», позволили впервые найти технологические решения, обеспечивающие возможность переработки более 70 % ИХГ продукта в кондиционные ильменитовый и хромовый

хромитового концентрата содержит более 45 % Cr_2O_3 и менее 8 % SiO_2 , и может быть использован в химической промышленности для получения соединений хрома.

На основании полученных данных была разработана принципиальная блок-схема процесса переработки ИХГ продукта (рис. 4) [2].

Полученные технологические принципы могут лечь в основу новой комплексной технологии переработки титаноциркониевых россыпей Лукояновского месторождения. Однако для этого необходимо проведение дополнительных исследований, направленных



Рис. 4. Принципиальная блок-схема процесса переработки ИХГ-продукта Лукояновского месторождения [2]

Таблица 3
Характеристика полученных опытных образцов концентратов

Химический состав, масс. %	Концентрат ильменитовый	Концентрат хромитовый
FeO	48,08	22,07
Al ₂ O ₃	1,19	17,87
Cr ₂ O ₃	0,35	45,69
MgO	0,42	8,37
MnO	2,48	0,52
SiO ₂	0,33	2,26
TiO ₂	47,15	3,22
Класс крупности, мм	-0,071+0,044	-0,071+0,044
Выход продукта, %	51,8	18,9

на оптимизацию условий проведения магнетизирующего обжига, а также технологических параметров электромагнитной сепарации.

В рутиловом концентрате регламентируется содержание TiO₂, ZrO₂, SiO₂, P₂O₅, Al₂O₃, Fe₂O₃, SO₃ (табл. 4). В отличие от ильменитовых концентратов не лимитируется содержание Cr₂O₃, но нормируется по ГОСТ 6613-73 крупность зерен: остаток на сетке 0,315 мм.

Рутиловые концентраты полностью соответствуют предъявляемым к ним требованиям за исключением более низкого содержания TiO₂ в Ордынском месторождении, а также значительного превышения содержания фосфора в Центральном.

В химическом составе рутила всех месторождений содержится 96–98 % TiO₂. Заниженное его содержание в Ордынском месторождении можно объяснить только загрязнением концентрата другими минералами. Повышенное содержание фосфора — самая характерная особенность Центрального месторождения по сравнению с другими объектами, что сказалось на качестве рутилового концентрата.

В целом по сравнению с ильменитом рутил характеризуется существенно меньшей изменчивостью физических и химических свойств. По химическому составу первичные рутилы близки между собой. Теоретический химический состав рутила — TiO₂ 100 %, но в нем часто содержится изоморфная примесь Fe, из элементов-примесей — V, Sc, Nb, Ta, Cr, Sn. Редкоземельные элементы содержатся в малом количестве, но обычно обогащены иттриевыми лантаноидами (рис. 5).

Переменный состав, наличие включений и посторонних примесей, несомненно, будет сказываться на качестве рутилового концентрата.

Главной причиной неустойчивости рынка пигментного диоксида титана является невозможность использования разных видов титанового сырья на заводах, работающих по разным технологиям. Для пигментной промышленности особое значение имеют те примеси, которые негативно влияют на пигментные свойства и, особенно, на белизну готового продукта: FeO, Fe₂O₃ (дают красный оттенок), CrO, Cr₂O₃, CrO₂, CrO₃ (коричнево-желтая расцветка), MnO (серый цвет), V₂O₅ (красный цвет).

В настоящее время не прекращаются попытки создания технологий получения пигментов из титаносодержащего сырья, альтернативных существующим, одной из которых может стать *бифторидная*. Многие показатели хлоридной металлургии можно отнести и к достоинствам *фторидной*. Это, прежде всего, эффективность и полнота вскрытия сырья, возможность разделения и очистки фторидов, нанесения с их помощью тонких покрытий, простота перевода в металлы, оксиды и другие товарные продукты. У фторидных процессов есть и дополнительные преимущества: более надежная экологическая безопасность процессов; более простая схема регенерации фторирующих агентов.

В лаборатории инновационных технологий Института химии АН Дальневосточного филиала (г. Владивосток) еще в 2005 г. была разработана фторидная технология разделения ИХГ продукта. В результате лабораторных исследований были получены: пигмент титана, пигмент железа и хромпик. В 2006 г. проведены исследования по переработке ильменитового концентрата месторождения *Центральное* (Тамбовская обл.) по фторидной технологии. Разработанная технологическая схема позволяет производить переработку

Таблица 4
Соответствие рутилового концентрата балансовых месторождений требованиям к его качеству

Показатели	ГОСТ 22938-78	Бешпагирское	Центральное	Лукояновское	Ордынское	Тарское
Содержание в концентрате, %						
TiO ₂	>94	94,1	95,1	94,2	93,75	94,1
ZrO ₂	≤1,0	0,61	0,14	0,14	0,4	0,95
SiO ₂	≤1,5	1,2	0,89	1,47	1,2	1,47
P ₂ O ₅	≤0,07	0,04	0,29	0,04	0,04	0,04
Al ₂ O ₃	≤0,6	0,5	0,1	0,56	0,5	0,54
Fe ₂ O ₃	≤3,0	1,9	1,2	2,5	1,9	2,3
SO ₃	≤0,05	0,02	0,03		0,02	0,03
экв.% Th	≤0,1	0,0156	0,0064	0,0053	0,008	0,0064
Остаток на сетке 0,315 мм по ГОСТ 6613-73	—	отсут.	отсут.	отсут.	отсут.	отсут.

Затушевано — несоответствие требованиям стандартов

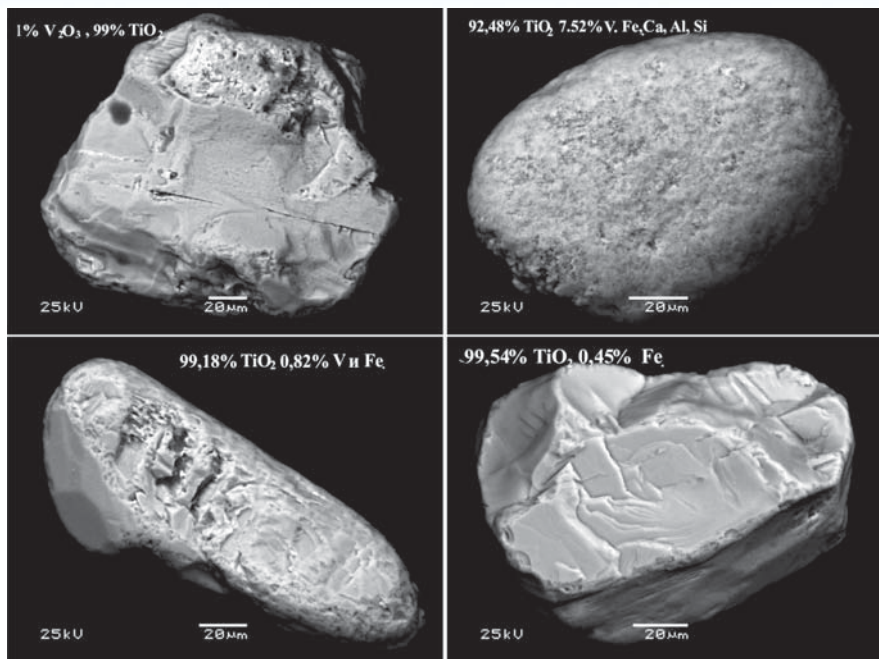


Рис. 5. Рутил с различным содержанием элементов-примесей (Тарское месторождение)

титансодержащего сырья с получением товарных продуктов в виде пигментов на основе Fe_2O_3 и TiO_2 (рис. 6). Однако теоретический анализ показывает, что в результате фторидного вскрытия, например, ильменитового концентрата, будет выделяться как побочный продукт вода (~300 кг при вскрытии 1000 кг ильменитового концентрата), которую необходимо выводить из технологического цикла. Вывести чистую воду при работе с аммиачными растворами не представляется возможным, т.к. при выпаривании растворов «отходом» является вода с содержанием ~2 % раствора аммиака, которую можно или нейтрализовать с получением соответствующих солей, используемых в качестве удобрений, или для этих же целей использовать аммиачную воду. Других побочных продуктов не предполагается. Для разрабатываемой технологии к аппаратуре предъявляются повышенные требования, так как в воздушную среду не должны попадать ни NH_3 , ни HF , что может быть достигнуто при герметичном выполнении в данной схеме большинства узлов.

Удачное сочетание термических и химических свойств $(\text{NH}_4)_2\text{TiF}_6$, $(\text{NH}_4)_3\text{FeF}_6$ и $(\text{NH}_4)_2\text{SiF}_6$ позволило разработать основу для простой и высокоэффективной схемы переработки ильменитов гидрофторидом аммония.

Таким образом, используя только один реагент, можно по малооперационным замкнутым схемам с высоким выходом извлекать не только редкие тугоплавкие металлы, но и золото и серебро из упорного и, возможно, техногенного сырья.

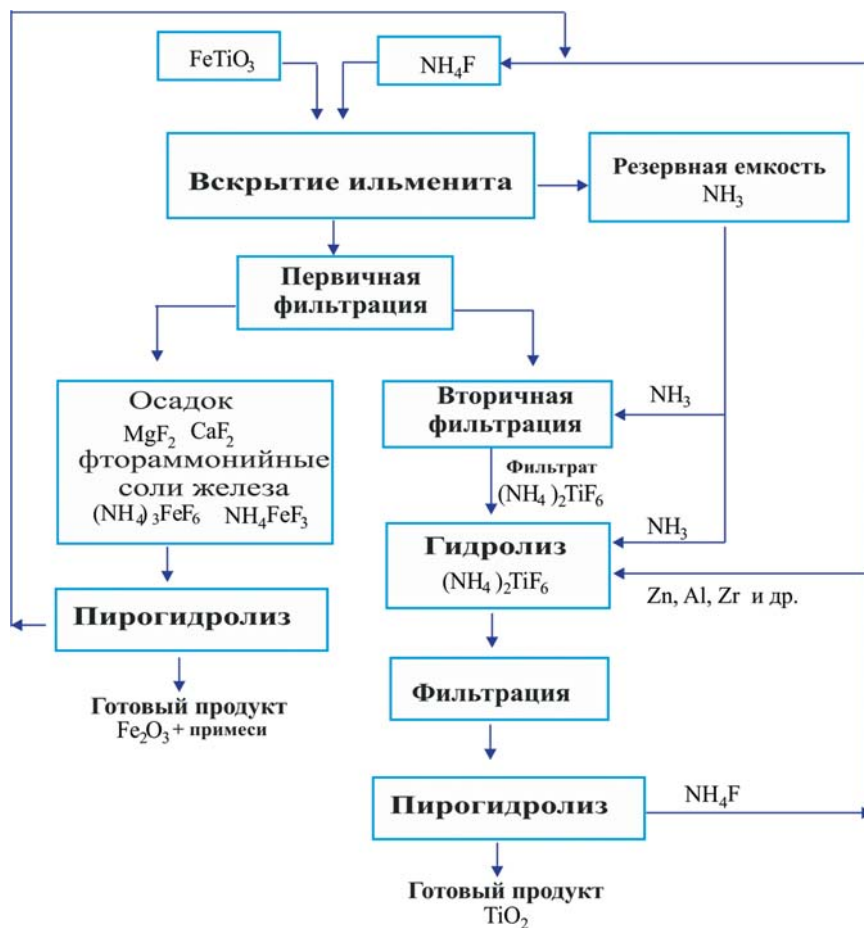


Рис. 6. Технологические операции по фторидной технологии

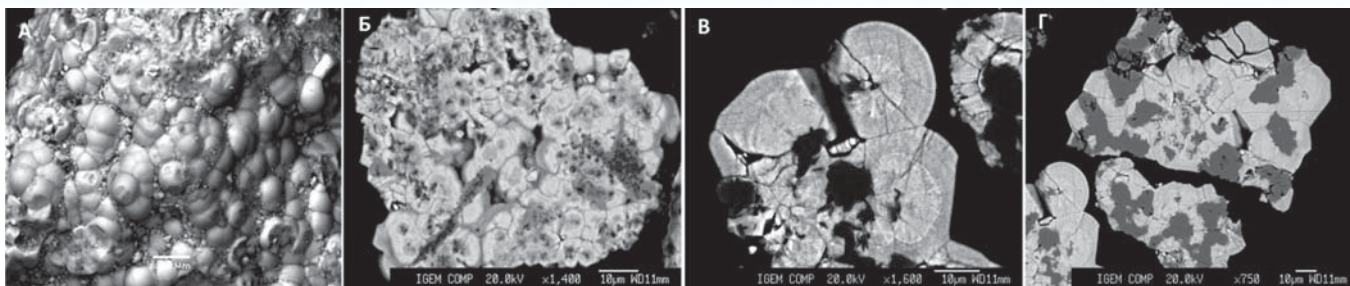


Рис. 7. Формы нахождения циркониевых фаз в породах рудопроявления Алгама: А — колломорфные выделения криптокристаллических агрегатов циркониевых фаз (СЭМ); Б — сингенетичное образование гидросиликатов, гидроксидов и карбонатов циркония в сростании с апатитом (мелкие черные кристаллиты), полированный шлиф; В — радиально-лучистое строение агрегатов циркониевых минералов, полированный шлиф; Г — сростки силиката и гидросиликата циркония (темные участки) с оксидами и гидроксидами циркония, полированный шлиф

Интерес к процессам переработки, в частности, титансодержащих руд не уменьшается, о чем свидетельствуют многочисленные публикации. Ильменит — трудновосстановимое соединение, монооксид железа в его составе не восстанавливается селективно, поэтому искусственный рутил дорог, а серноокислотная технология — одна из экологически напряженных и чувствительных к примесям окрашивающих катионов. Вот именно поэтому «мягкая» (*низкотемпературная, с высоким выходом, однореагентная и замкнутая*) бифторидная технология должна пробить себе дорогу сразу и по многим направлениям, благодаря своей универсальности.

К инновационным можно отнести и другие разработанные в последнее время технологии переработки нетрадиционных минеральных концентратов.

Алгаминское рудопроявление относится к одному из трех известных в мире циркониевых объектов, в рудах которых одновременно присутствуют основные циркониевые минералы — бадделеит и циркон, находящиеся в ассоциации друг с другом. Особенностью этого оруденения являются формы нахождения циркониевых фаз, которые представляют собой тончайшие сростания микросталлов циркона и бадделеита (размерами порядка 200 ангстрем) с аморфными фазами, содержащими гидроксильную составляющую и карбонаты циркония (рис. 7) [1].

Установлено, что концентраты гравитационного обогащения бадделеит-цирконовых руд отличаются переменным содержанием главных рудных минералов (циркона и бадделеита), сконцентрированных преимущественно в шламовом материале. В пробах в достаточно значительном количестве присутствует уран, входящий изоморфно в структуру циркониевых минералов, что не позволит избавиться от него в процессах технологической переработки.

Особенности состава и строения концентратов определили перспективу их переработки гидрометаллургическими методами. В ФГБУ «ВИМС» разработана рациональная схема переработки гравитационных концентратов обогащения с получением товарного цирконийсодержащего продукта, основными операциями которой являются: спекание концентрата при температуре 1050–1100 °С, кислотное выщелачива-

ние спека, сорбционное выделение урана из цирконийсодержащего раствора, осаждение вольфрамовой кислоты 25%-ным раствором аммиака с последующим получением вольфрамового ангидрида (табл. 5) [3]. Установлены основные параметры вскрытия концентрата обогащения, обеспечивающие селекцию кремния и получение растворов, пригодных для получения из них товарных соединений.

В лаборатории инновационных технологий Института химии АН Дальневосточного филиала (г. Владивосток) предложена альтернативная схема переработки концентрата гравитационного обогащения руды Алгаминского рудопроявления по бифторидной технологии. В результате получены — высокочистый ZrF_4 и W-содержащий шлам [4].

Таким образом, сложный вещественный состав отечественных россыпей требует разработки более эффективных методов их переработки с применением новых процессов и аппаратов, что в конечном итоге может обеспечить решение проблемы промышленного использования россыпей с невысокими качественными характеристиками.

Перечень только основных технологических инноваций в переработке редкометалльно-титановых руд и минеральных концентратов показывает, что совершенствование технологий их производства — одна из наиболее ярких особенностей современного развития промышленности.

Таблица 5
Характеристика готовой продукции

Наименование товарных продуктов	Выход от концентрата обогащения, %	Содержание основного компонента, %	Извлечение от концентрата обогащения, %
Диоксид циркония Цро-К (ГОСТ 21907-76)	51,8	96,5	89,3
Триоксид вольфрама (ТУ 1742-003-05783515-98)	0,70	99,5	58,04
Урановый химконцентрат	0,04	75,0	73,0

Технологические исследования обычно относятся к самой дорогостоящей части разрабатываемых проектов и последнее слово всегда остается за экономикой процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьева, А.В. Новый нетрадиционный тип циркониевого орудения (рудопроявление Алгама) / А.В. Григорьева, Е.Н. Левченко, Л.О. Магазина, С.Е. Борисовский, И.М. Куликова / Матер. конф. «Месторождения стратегических металлов: закономерности размещения, источники вещества, условия и механизмы образования», посвящена 85-летию ИГЕМ РАН. — М.: ИГЕМ РАН, 2015. — С. 186–187.
2. Занавескин, К. Л. Физико-химические основы разделения некондиционных продуктов обогащения титаноциркониевых россыпей Лукояновского месторождения / К.Л. Занавескин, Е.Н. Левченко, Л.Н. Занавескин, А.Н. Масленников // Разведка и охрана недр. — М. — 2014. — № 9. — С. 30–35.
3. Лихникевич, Е.Г. Принципиальная термохимическая технология переработки циркон-бадделеитовых концентратов / Е.Г. Лихникевич, Е.Н. Левченко, О.А. Якушина, А.С. Фатов / Вестник ИГ Коми НЦ УрШ РАН. — 2016. — № 3. — С. 18–25.
4. Мельниченко, Е.И. Фторидная переработка редкометалльных руд Дальнего Востока / Е.И. Мельниченко. — Владивосток: Дальнаука, 2002. — 260 с.
5. Рихванов, Л.П. Циркон-ильменитовые россыпные месторождения как потенциальный источник развития Западно-Сибирского региона / Л.П. Рихванов, С.А. Бабенко, А.И. Соловьев и др. — Кемерово: САРС, 2001. — 214 с.
6. Соловьев, А.И. Комплексная переработка коллективных рудных концентратов, выделяемых из песков россыпных ильменит-циркониевых месторождений / А.И. Соловьев, В.М. Малютина, Л.П. Рихванов, Т.В. Усманова, С.А. Бабенко // Горный журнал. Специальный выпуск. Цветные металлы. — 2006. — № 6. — С. 52–56.

© Левченко Е.Н., 2020

Левченко Елена Николаевна // levchenko@imgre.ru

УДК 339.13: 553.3

Петров И.М., Белоусова Е.Б. (ООО «Исследовательская группа «Инфомайн»), Петрова А.И. (ФГБУН ИПКОН РАН)

РАЗВИТИЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ И ЭКОЛОГИЧНОГО ТРАНСПОРТА — ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РОСТА МИРОВОГО СПРОСА НА ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫЕ РЕДКИЕ МЕТАЛЛЫ

В статье дана новая сегментация редких металлов с точки зрения их основного рыночного использования. Рассмотрено развитие рынка лития в связи с расширением производства электромобилей. Представлен прогноз потребления неодима на основе перспектив ветроэнергетики и электротранспорта. Показано сравнение структуры потребления РЗМ в России и Китае, сделан вывод о низком уровне использования редких металлов в высокотехнологичных отраслях в нашей стране. **Ключевые слова:** редкие металлы, литий, неодим, возобновляемые источники энергии (ВИЭ), ветроэнергетика, электромобили.

Petrov I.M., Belousova E.V. (Research Group Infomine), Petrova A.I. (Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian Academy of Sciences)

THE DEVELOPMENT OF RENEWABLE ENERGY AND ENVIRONMENTALLY FRIENDLY TRANSPORT — THE MAIN DIRECTIONS OF GROWTH IN GLOBAL DEMAND FOR HIGH-TECH RARE METALS

*The article presents a new segmentation of rare metals in terms of their main market use. The development of the lithium market in connection with the expansion of the production of electric vehicles is considered. A forecast of neodymium consumption based on the prospects of wind energy and electric transport is presented. A comparison of the structure of REM consumption in Russia and China is shown, a conclusion is drawn about the low level of use of rare metals in high-tech industries in our country. **Keywords:** rare metals, lithium, neodymium, renewable energy, wind energy, electric cars.*

Устойчивое увеличение спроса на редкие металлы (РМ) является характерной особенностью сегодняшнего дня. Они используются в самых разнообразных отраслях промышленности, при этом чаще всего направления их применения бывают разнонаправлены. Тем не менее, нами сделана сегментация по основным направлениям использования [1].

В частности, выявлена группа РМ с преимущественным потреблением в качестве компонентов электронных и оптических систем — галлий, индий, германий, тантал, теллур и таллий (табл. 1).

В отдельный сегмент определена группа редких элементов, которая находит основное применение в аэрокосмической и атомной промышленности в качестве конструкционных материалов и добавок к ним — бериллий, рений, гафний и скандий.

К «аккумуляторным» РМ отнесены литий, использующийся в литий-ионных батареях и лантан — в никель-металлгидридных батареях. Магнитными материалами являются компоненты редкоземельных постоянных магнитов, прежде всего неодим, празеодим, диспрозий и самарий.

Вместе с тем, выделяют 4 наиболее перспективных сегмента современного использования РМ — средства транспорта, эффективное использование энергии, защита окружающей среды и средства коммуникации (табл. 2).

Согласно прогнозу Международного энергетического агентства (IEA) в перспективе доля бензиновых и дизельных автомобилей начнет сокращаться, и человечество будет переходить на другие виды транспорта, связанные с электрическими двигателями или разные гибридные. Весь этот процесс идет в соответствии с Парижским соглашением по снижению содержания углекислого газа в атмосфере.

В 2018 г. мировые продажи гибридных автомобилей и электромобилей составили уже 2 млн единиц, что в 1,6 раза выше уровня предыдущего года (рис. 1), при этом продажи всех видов автомобилей — 86 млн единиц.