

Д. т. н. В. А. Соколов<sup>1</sup> (✉), д. т. н. Е. В. Богатырева<sup>1</sup>, д. т. н. М. Д. Гаспарян<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Москва, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева», Москва, Россия

УДК 622.349.4:553.86(470)

## СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЦИРКОНИЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Приведены области применения циркония, главными из которых являются металлургия, производство огнеупоров и керамики. Указаны источники получения и распределения запасов и ресурсов диоксида циркония в России. Отмечено, что Россия, занимающая четвертое место в мире по запасам циркония, не имеет ни одного промышленно разработанного месторождения с выпуском цирконовой продукции и российские потребители полностью работают на импортном сырье. Показана возможность обеспечения импортонезависимости России по циркониевому сырью за счет ввода в эксплуатацию собственных разведанных россыпных месторождений циркония и вторичного сырья.

**Ключевые слова:** минерально-сырьевая база (МСБ), коренные и россыпные месторождения, циркон, бадделлит, цирконистые и плавнелиты бадделлитокорундовые огнеупоры, остеклованный бакоровый лом, бакоровый концентрат.

Цирконий несмотря на достаточно высокое содержание в земной коре (кларк 0,025 %, выше, чем у никеля, олова, свинца и меди и др.) относится к редким металлам, так как до 50-х годов прошлого века практически не использовался в промышленности. В настоящее время цирконий является единственным из группы тугоплавких редких металлов, производство и потребление которого в виде циркониевой продукции составляют сотни тысяч тонн. К циркониевой продукции, весьма разнообразной по ассортименту и масштабной по объему, кроме металлического циркония и различных цирконийсодержащих сплавов относятся тугоплавкие материалы на основе его оксидов, карбидов и нитридов, а также различные химические соединения в виде солей (сульфатов, карбонатов, оксихлоратов и др.) [1].

В мире основными промышленными источниками циркониевого сырья являются минералы циркон ( $ZrSiO_4$ ) и бадделлит ( $ZrO_2$ ), соотношение запасов которых составляет порядка 95 и 5 % соответственно. Основными видами сырья

для получения циркониевой продукции являются циркониевые концентраты: цирконовый и бадделлитовый, при этом значительная часть циркониевых концентратов применяется в минеральной форме.

Цирконовый концентрат в больших объемах без переработки на другие соединения циркония применяется при производстве огнеупоров, керамики, литейных форм в металлургии др. Цирконовые концентраты — единственный источник получения гафния; в них содержится 0,5–2,0 %  $HfO_2$ .

Бадделлит — природный диоксид циркония отечественного производства, в количестве 80–150 т расходуется в России для производства плавнелитых бадделлитокорундовых огнеупоров и абразивов [2, 3].

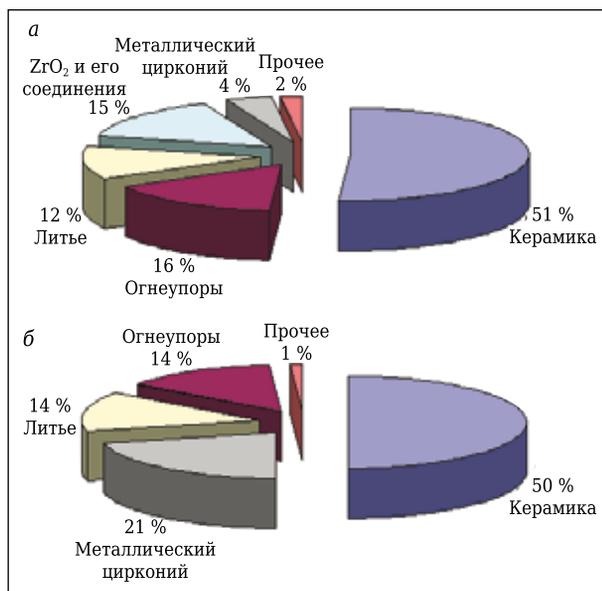
Синтетический диоксид циркония, являющийся одним из продуктов переработки цирконового концентрата, наряду с природным широко применяется в качестве сырья для производства огнеупоров, абразивов (циркониевый электрокорунд), технической керамики, катализаторов, при выращивании кристаллов, для выпуска эмалей и глазурей, получения лигатур, сплавов и др. [1, 4–6].

Данные по потреблению циркона различными отраслями в мире за 2015 г. (рис. 1, а) свидетельствуют, что основным потребителем является керамическая (51 %) и огнеупорная (16 %) промышленность [5, 7]. Значительная часть цирконового концентрата используется для получе-



В. А. Соколов

E-mail: sokolov235@yandex.ru

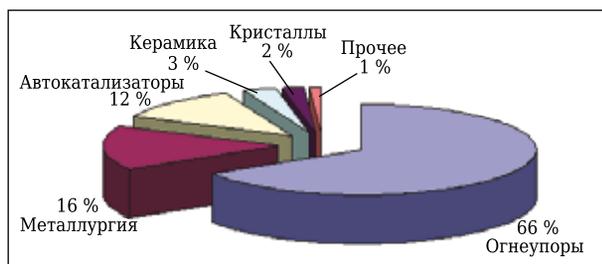


**Рис. 1.** Структура потребления циркона в мире (а) и в России (б)

ния диоксида циркония и его соединений (15 %). В литейном производстве расходуется 12 %, и только 4 % идет на производство металлического циркония.

Керамическая и огнеупорная отрасли также являются основными потребителями циркона в России (рис. 1, б) [5]. При этом в России полностью отсутствует производство диоксида циркония из циркона, а 10–15 % цирконовых концентратов идет на переработку для получения металлического циркония, его сплавов, а также гафния, имеющего важное стратегическое значение. Металлический цирконий, обладающий малым сечением захвата тепловых нейтронов, широко используется в ядерном реакторостроении в качестве оболочек топливных элементов (ТВЭЛов) и как конструкционный материал [1].

Потребление синтетического диоксида циркония в РФ определяется объемами импортных поставок, для которых характерны достаточно резкие колебания. По оценке Инфомайна [8], среднегодовые поставки синтетического диоксида циркония на российский рынок в период 2009–2017 гг. составляли 380–385 т. Россия в



**Рис. 2.** Структура потребления синтетического диоксида циркония в России

данный период уступает по потреблению циркона и диоксида циркония всем развитым промышленным странам, что затрудняет осваивать новые области их применения, которые успешно развиваются за рубежом.

В настоящее время цирконийсодержащее сырье (цирконовый концентрат и диоксид циркония) является одним из самых дефицитных видов редкометалльного минерального сырья. Россия, занимающая четвертое место в мире по запасам циркония, не имеет ни одного промышленно разработанного месторождения с выпуском цирконовой продукции. Для нужд российской промышленности ежегодно импортируется от 6 до 10 тыс. т цирконового концентрата. Российские потребители полностью работают на импортном сырье. За счет импорта из Украины удовлетворяет свою потребность в сырье ОАО «Чепецкий механический завод» (ОАО ЧМЗ), производящий металлический цирконий, а также слитки из циркониевых сплавов, ТВЭЛы для атомной энергетики. В 2017 г. импорт цирконового концентрата в РФ составил 9,7 тыс. т, хотя, по различным оценкам, потребность в нем составляет от 50 до 270 тыс. т в год [2, 9]. Обеспечение же России цирконовым концентратом в объемах приведенных потребностей является весьма проблематичным.

Ситуация с диоксидом циркония также является тяжелой. Тогда как в России имеется единственное в мире бадделеитовое месторождение, на базе которого Ковдорским ГОКом ежегодно производится 7–8 тыс. т бадделеитового концентрата, российским потребителям достается не более 5 %, а 95–98 % продукции экспортируется в Японию, Германию и США. В 2017 г. объем поставок бадделеитового концентрата на внешний рынок составил 6,9 тыс. т [2].

При острейшем дефиците в цирконийсодержащем сырье в России находится 9 % мировых запасов циркония. Ресурсы диоксида циркония, учтенные Государственным балансом полезных ископаемых Российской Федерации, составляют более 2 млн т, из которых в разрабатываемых и осваиваемых объектах заключено 3,1 млн т запасов диоксида циркония. Балансовые запасы диоксида циркония учитываются в 19 месторождениях (14 россыпных и 5 коренных), а также в одном техногенном объекте; при этом в распределенном фонде недр числятся 8 месторождений — 5 россыпных, 2 коренных и одно техногенное [2].

Структурно и качественно МСБ циркония в нашей стране сильно отличается от зарубежной. За рубежом почти все титано-цирконовые россыпные месторождения сосредоточены в прибрежных морских зонах, на них приходится 95 % мировых запасов циркония. В России около половины (48 %) разведанных запасов диоксида циркония заключено в россыпных месторождениях, которые отличаются от зарубежных более сложными горно-геологическими и гидрогеологиче-

скими условиями разработки и худшим технологическим качеством рудных песков, поэтому по условиям локализации рудных тел их освоение требует больших затрат. Долгое время основным недостатком циркон-рутил-ильменитовых россыпей считалась сравнительно большая глубина залегания, что делало невозможным их разработку открытым способом. С применением метода скважинной гидродобычи (СГД) стала возможной добыча рудных песков с больших глубин [11]. Характеристика основных россыпных месторождений, относящихся к циркон-рутил-ильменитовому геолого-минералогическому типу, приведена в табл. 1. Особенности этих месторождений представлены ниже [1, 2, 10–17].

**Туганское месторождение** расположено в 40 км от Томска в зоне с развитой инфраструктурой, на его базе в 2002 г. создан Туганский ГОК «Ильменит». Он стал первым предприятием в России в части реализации программы по производству цирконового концентрата. Рудные пески Южно-Александровского участка месторождения содержат 11 кг/м<sup>3</sup> циркона, залегают на глубине около 7 м и пригодны для открытой добычи. В период 2005–2016 гг. на месторождении велась опытно-промышленная добыча рудных песков, из которых на обогатительной фабрике производили цирконовый и коллективный титановый концентраты, каолиновый продукт, а также кварцевые пески. Цирконовый концентрат опытно-промышленного производства ЗАО ТГОК «Ильменит» по ТУ 1762-002-581914756–2005 содержит, %: ZrO<sub>2</sub> 60,0, TiO<sub>2</sub> 4,0, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1,0, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1. Хотя по содержанию оксидов железа и титана концентрат пока не удовлетворяет требованиям производства плавнелитых бадделейтокорундовых огнеупоров, он может быть достаточно широко применен при получении огнеупоров, керамики и др. Начало промышленной добычи планируется в 2020 г. после реконструкции опытной фабрики с увеличением производительности по добыче и обогащению песков до 500 тыс. т, что позволит получать 3,5 тыс. т цирконового концентрата в год [2]. При промышленной разработке Туганского месторождения планируется производить 15,7 тыс. т цирконового концентрата; ГОК обеспечен запасами на 58 лет [12]. Инвестиционную привлекательность месторождения обуславливает присутствие в его

песках скандия — востребованного металла для аэрокосмической промышленности [13].

**Центральное месторождение** (Тамбовская обл.) по запасам рудных песков одно из крупнейших в мире. Наиболее разведанным и изученным является Восточный участок (длина 7 км, ширина 5 км), имеющий достаточные для проектирования крупного ГОКа высокие концентрации полезных ископаемых компонентов (содержание циркона 7,28 кг/м<sup>3</sup>). При мощности ГОКа по добыче песков до 2 млн м<sup>3</sup>/год ожидаемый выход цирконового концентрата составит 8 тыс. т/год [12]. Следует отметить также высокую заинтересованность в разработке Восточного участка с запасами 1,3 млн т диоксида титана потребителей титановых концентратов (ГПК «Титан», завод «Крымский титан», ВСМПО-АВИСМА) [19].

**Лукояновское месторождение** (Новгородская обл.) является самым богатым по содержанию в рудных песках диоксида циркония. Наиболее разведанной является Итмановская россыпь протяженностью более 6 км при мощности от 2 до 12 м, залегающая на глубине от 5 до 42 м. Итмановская россыпь — самая богатая часть Лукояновского месторождения. Ее запасы составляют примерно 1 млн т оксида титана и более 350 тыс. т оксида циркония и, по данным «Атомредметзолото» — сырьевого холдинга «Росатома», способны надолго удовлетворить потребности атомной энергетики [17]. В 1 м<sup>3</sup> мелкозернистых полевошпат-кварцевых песков россыпи содержится 23 кг циркона, а также 90 кг ильменита с хромитом и гематитом, 7 кг рутила, 1,7 кг лейкоксена. Разработку россыпи предполагалось вести методом СГД и открытым способом на флангах месторождения. Рентабельность предприятия может быть значительно повышена при получении кроме цирконового титановых, хромовых и железорудных концентратов. При проектной мощности обогатительной фабрики 1 млн м<sup>3</sup>/год рудных песков можно получить 20 тыс. т/год цирконового концентрата. Обеспеченность предприятия запасами рудных песков 17 лет [12].

**Бешпагирское месторождение** находится в экономически благоприятном районе (Ставропольский край) с развитой инфраструктурой и в 2006 г. поставлено на баланс в ГКЗ. Прогнозируемые ресурсы месторождения оценены в 4,0 млн т диоксида циркония. Запасы первоочередного

Таблица 1. Характеристика основных россыпных месторождений циркония в России

Месторождение	Запасы ZrO <sub>2</sub> , тыс. т		Доля в запасах РФ, %	Содержание в рудах, кг/м <sup>3</sup>		Другие металлы для попутного извлечения
	A + B + C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>		ZrO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	
Туганское	980,2	0	8,2	7,72	19,7	Ti, Sc
Центральное	830,2	0	6,9	3,12	24,06	Ti
Лукояновское	346,4	42,5	3,2	13,0	5,52	Ti, Cr
Бешпагирское	139,8	26	1,4	7,84	24,73	Ti
Тарское	28,5*	409,5*	4,5	6,37	31,97	Ti, Ta, PЗМ

\*Запасы Тарского и Самсоновского месторождений по категориям B + C<sub>1</sub> и C<sub>2</sub> [15].

участка для освоения составляют 22,535 млн м<sup>3</sup> с содержанием циркона 11,29 кг/м<sup>3</sup>. Промышленное освоение планируется начать с южной части месторождения, наиболее изученной и подготовленной для промышленной добычи. Производительность ГОКа по добыче и переработке с вовлечением забалансовых участков может достигнуть суммарной производительности 6,5 млн м<sup>3</sup>/год песков, из которых планируется извлечь 52,7 тыс. т цирконового концентрата [12].

**Тарское месторождение**, расположенное по соседству с *Самсоновским месторождением* в Омской области, с содержанием циркона 4,7 кг/м<sup>3</sup> входит в десятку богатейших месторождений России по запасам титана и циркония и осваивается с 1992 г. При подтверждении значительных запасов редкоземельных лантановых и цериевых групп месторождение может быть отнесено к весьма перспективным и ценность его возрастет в разы. Опытные партии цирконового концентрата, полученные с применением метода СГД и поставляемые в небольших количествах Тарским ГОКом по ТУ 1762-003-79932362–2007, содержат, %: ZrO<sub>2</sub> 60,0, SiO<sub>2</sub> 37,0, TiO<sub>2</sub> 0,8, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0,2, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 2,5, Fe<sub>общ</sub> 0,15 [3]. Широкое применение концентрата такого качества возможно для производства огнеупоров, ферросплавов, абразивов. По данным Минприроды, разведкой Тарского и Самсоновского месторождений занимается Тарский ГОК. Строительство и ввод предприятия по выпуску ильменитового и рутилового концентратов намечено к 2022 г. В качестве попутного продукта планируется производство цирконового концентрата [16].

Приведенные данные свидетельствуют, что основная часть запасов циркона в россыпных месторождениях сконцентрирована в европейской части России (Центральное, Лукояновское и Бешпагирское) и в Сибири (Туганское) (см. табл. 1).

В настоящее время к эксплуатации подготовлено только Туганское месторождение, на долю которого приходится более половины запасов циркон-ильменитовых месторождений. На остальных россыпях требуется проведение дополнительных геологоразведочных работ. Следует отметить, что в мировой практике циркон не добывается как самостоятельный продукт, притом что его содержание невелико. Основную извлекаемую ценность в россыпях составляют титановые минералы — ильменит и рутил. Масштабы разработки россыпей определяются потребностью в титановых минералах, а циркон, хотя и составляет один из основных компонентов, добывается попутно. Поэтому необходимо рассматривать объемы добычи циркона в России в абсолютной прямой зависимости от совместного производства титансодержащих концентратов — ильменитового и рутилового [10].

Общность принадлежности руд вышеуказанных россыпных месторождений к циркон-рутил-

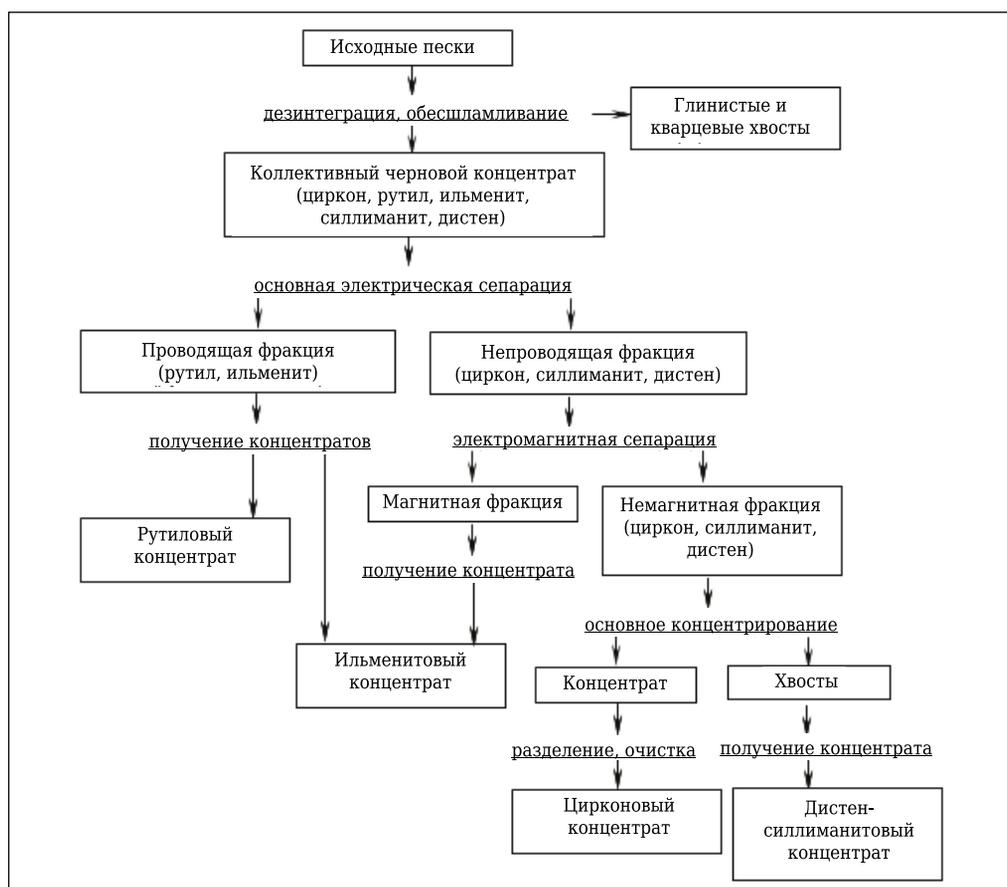
ильменитовому геолого-промышленному типу предполагает общую технологическую схему их переработки. Вариант принципиальной технологической схемы получения цирконового концентрата из россыпных циркон-рутил-ильменитовых песков показан на рис. 3. Наряду с цирконовым концентратом предусмотрено производство рутилового и ильменитового, а также силикатной продукции. Кроме того, исследования, проведенные в ИМГРЭ [10], свидетельствуют о возможности попутного выделения золотосодержащих продуктов при переработке титан-циркониевых песков Бешпагирского месторождения.

Наряду с россыпными в России имеются крупные коренные месторождения циркония, характеристика которых приведена в табл. 2 и в публикациях [2, 12, 14].

**Ковдорское месторождение** (Мурманская обл.) на базе которого, единственного в России, Ковдорский ГОК производит бадделитовый концентрат при разработке бадделит-апатит-магнетитовых руд открытым способом. В месторождении заключено 2,312 млн т балансовых запасов диоксида циркония (19,5 % российских). Руды по содержанию диоксида циркония достаточно бедны (0,15 % ZrO<sub>2</sub>). Получаемый бадделитовый концентрат представляет собой технический диоксид циркония с содержанием ZrO<sub>2</sub> 98 %. В непосредственной близости от коренного месторождения находится Ковдорское техногенное месторождение, которое представлено хвостами обогащения исходных коренных руд, содержащими в среднем 0,33 % ZrO<sub>2</sub> [2]. При освоении техногенного месторождения возможен ежегодный выпуск до 1,5 тыс. т ZrO<sub>2</sub>. По данным [12], Ковдорский ГОК обеспечен запасами на 31 год, и при совместной отработке коренного и техногенного месторождений производство бадделитового концентрата составит 7–8 тыс. т.

За рубежом в месторождениях циркония в щелочных гранитах находится 2 % запасов. Они не рассматриваются в качестве перспективного источника циркония, в то время как в России с этим типом связано более 50 % запасов (Катугинское и Улуг-Танзекское месторождения). В этих месторождениях содержатся значительные запасы циркония — суммарно 6 млн т ZrO<sub>2</sub>, но основными полезными компонентами являются тантал и ниобий, а попутным — цирконий. Поэтому их относят также к тантало-ниобиевым месторождениям.

**Катугинское месторождение** (Забайкальский край), руды которого содержат, %: ZrO<sub>2</sub> 1,58, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0,026, Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0,374, Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,16, Th<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,22, U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> 0,0078. В месторождении сконцентрировано 3,086 млн т, или 26 % российских балансовых запасов диоксида циркония. Здесь развита плащеобразная кора выветривания средней мощностью 2 м. Рыхлые склоновые отложения содержат такую же минерализацию, как и ко-



**Рис. 3.** Принципиальная технологическая схема получения цирконового концентрата и из россыпных циркон-рутил-ильменитовых песков

ренные, и являются объектом первоочередной разработки [12].

Цирконовый концентрат Катугинского месторождения является одним из перспективных российских источников сырья для получения ядерно-чистого циркония, производство которого реализовано в ОАО «Чепецкий механический завод». Потребности завода в концентрате составляют 3000 т/г. Цирконовый концентрат, полученный в результате доводки черного гравитационного концентрата, имеет следующий состав, %: 47,5 Zr, 1,45 Ta, 0,66 Nb, 0,46 Fe, 0,15 Ti, 0,77 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0,038 U, 0,077 Th, 0,1 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 0,45 Hf. По содержанию циркония концентрат соответствует требованиям технических условий, однако содержание железа и радионуклидов в нем превышает допустимый уровень на порядок. На установке ОАО ВНИИХТ отработаны технологии дезактивации исходного концентрата, отделения циркония от гафния, ниобия и тантала с получением качественного концентрата, пригодного для переработки в ОАО ЧМЗ [21].

**Улуг-Танзекское месторождение** (Республика Тыва), руды которого относятся к циркон-пирохлор-колумбитовому типу и содержат, %: ZrO<sub>2</sub> 0,40, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0,016, Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0,146, Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,16, Th<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,0483, U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> 0,0139, криолит 0,61, является

забалансовым. Месторождение находится в высокогорном районе со слаборазвитой инфраструктурой. За рубежом месторождения такого типа не разрабатываются и не подготавливаются к разработке [12].

**Зашихинское месторождение** (Иркутская обл.) является полиметаллическим и характеризуется самым высоким среди российских месторождений содержанием оксида тантала в руде (~0,3 %) [22]. Освоением месторождения занимается компания «ТЕХНОИН-ВЕСТ». Компания планирует ввод в эксплуатацию ГОКа на базе месторождения в 2023 г., а химико-металлургического завода по переработке рудной продукции — в 2027 г. Завод, кроме оксидов тантала и ниобия, планирует выпускать цирконовый концентрат [23].

Указанные месторождения из-за постоянной смены собственников, отсутствия финансовых средств и невыполнения государственных целевых комплексных программ в течение десятилетий являются промышленно не освоенными. Однако, оценивая вышеприведенные материалы, следует считать, что Российская Федерация обладает значительной МСБ циркония, достаточной для обеспечения своих внутренних потребностей в этом виде сырья. При этом первоочередным является ввод в промышленную

**Таблица 2. Основные коренные месторождения циркония в России**

Месторождение	Геолого-промышленный тип	Запасы ZrO <sub>2</sub> , тыс. т		Доля в запасах РФ, %	Содержание ZrO <sub>2</sub> в рудах, %	Другие полезные компоненты
		A + B + C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>			
Ковдорское	Бадделейт-апатит-магнетитовый	1095,5	1166,1	18,8	0,15	–
Кагугинское	Циркон-пирохлор-криолитовый	361,2	2724,3	25,7	1,58	Ta, Nb, Y, PЗМ
Улуг-Танзекское	Циркон-пирохлор-колумбитовый	1935,4	964,8	24,1	0,4	Ta, Nb, Hf, PЗМ
Зашихинское	Щелочно-гранитный	219,6	62,5	–	0,46	Ta, Nb

эксплуатацию наиболее подготовленного Туганского месторождения с достижением в ближайшие несколько лет планируемой мощности 3,5 тыс. т цирконового концентрата, что позволит частично обеспечить внутренние запасы российских предприятий и снизить импорт.

Разработка и освоение россыпных месторождений — Лукояновского, Центрального и Бешпагирского — позволит удовлетворить текущие потребности отечественной промышленности в цирконовом концентрате, а также потребности титановой промышленности в ильменитовом концентрате для производства титана и его сплавов. Учитывая большие затраты, в первую очередь на основании экономических показателей этих месторождений, требуется определить наиболее перспективные для организации промышленного производства цирконового концентрата и диоксида циркония. Дополнительным резервом для увеличения производства цирконового концентрата являются тантало-ниобиевые Кагугинское и Зашихинское месторождения, при разработке которых предусмотрен выпуск циркониевой продукции.

При оценке возможностей удовлетворения потребностей промышленности в циркониевом сырье и при его острейшем дефиците нельзя не

учитывать возможности использования вторичного сырья циркония, образующегося в весьма значительных количествах. В этих условиях особенно важными являются рециклинг циркония и вовлечение в производство новых источников, являющихся промышленными отходами [24].

Из всех областей применения циркониевой продукции производство плавнелитых бадделейтокорундовых огнеупоров для стекольной промышленности — наиболее материалоемкая отрасль, в которой количество цирконийсодержащих отходов достигает многих тысяч тонн. Годовая потребность стекольной промышленности России составляет около 10 тыс. т бакоровых огнеупоров (>50 % поставляется по импорту). Следует отметить, что стекольная промышленность не может работать без бакоровых огнеупоров (собственного производства или импортных). Поэтому образование и накопление лома бакоровых огнеупоров следует считать постоянным процессом.

При производстве 1 т бакоровых огнеупоров марок Бк-33, Бк-37 и Бк-41 расходуется 520–550 кг цирконового концентрата и 79–184 кг диоксида циркония [25]. Бакоровый лом представляет собой куски бадделейтокорундовых огнеупоров с механически неотделимым слоем стекла толщиной 2–5 мм на поверхности. Усредненный химический состав лома, %: ZrO<sub>2</sub> 30–40, SiO<sub>2</sub> 15–18, (RO + R<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 2,2–2,6, (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + TiO<sub>2</sub>) ≤ 0,5, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — остальное. Рациональная технологическая схема переработки бакорового лома с рекомендованным оборудованием приведена в работе [25], на рис. 4 показана принципиальная схема. По этой технологии Щербинский завод электроплавленных огнеупоров перерабатывал в небольших объемах остеклованный лом бакоровых огнеупоров для получения бакорового концентрата с усредненным химическим составом, %: ZrO<sub>2</sub> 34,1, SiO<sub>2</sub> 17,7, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 49,5, Na<sub>2</sub>O 1,52, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0,2. Завод планировал строительство специального цеха по переработке лома, но эти планы не были реализованы.

В России при централизованном сборе остеклованного лома бакоровых огнеупоров и создании предприятия по его переработке возможно получение до 3–4 тыс. т/год бакорового концентрата с содержанием порядка 34 % ZrO<sub>2</sub>. Его применение вместо цирконового концентрата при получении плавнелитых бакоровых огнеу-



**Рис. 4.** Принципиальная схема переработки лома остеклованных бакоровых огнеупоров

поров, а также в литейном производстве и керамической промышленности позволит значительно снизить экспортное потребление циркона.

Необходимость обеспечения потребностей России в цирконии собственным сырьем обусловлено его применением в различных отраслях, в том числе в атомной промышленности [26]. Цирконий включен в Перечень основных видов стратегического минерального сырья (распоряжение Правительства РФ № 50-р от 16 января 1996 г.). Проблема создания в России титано-циркониевой сырьевой базы является общегосударственной,

так как от решения этой проблемы зависит экономическая и оборонная безопасность страны. Решению этой проблемы может способствовать создание единого координирующего Центра развития редкометалльной промышленности при одной профильной научной организации в Госкорпорации, например «Росатом» [27]. В системном подходе к «редкометалльной» проблеме деятельность такого регулятора должна охватить оборонным и гражданским госзаказом сферы НИОКР, промышленности, подготовки кадров, научно-технической информации и др.

### Библиографический список

1. **Быховский, Л. З.** Цирконий и гафний России: современное состояние, перспективы освоения и развития минерально-сырьевой базы / Л. З. Быховский, Л. П. Тигунов, Л. Б. Зубков [и др.]. — М. : РИС ВИМС, 2007. — 127 с. (Минеральное сырье. Сер. геолого-экономическая, № 23).
2. Государственный доклад. О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2016 и 2017 годах. — Москва, 2018.
3. **Соколов, В. А.** Состояние производства и сырьевой базы цирконистых огнеупоров в России / В. А. Соколов // Новые огнеупоры. — 2013. — № 11. — С. 14–17.
4. **Жигачев, А. О.** Керамические материалы на основе диоксида циркония / А. О. Жигачев, Ю. И. Головин, А. В. Умрихин [и др.]. — М. : Техносфера, 2018. — 358 с.
5. **Загайнов, С. В.** Циркон: состояние и перспективы российского рынка / С. В. Загайнов, О. Е. Рейнбах // Социально-экономические явления и процессы. — 2016. — Т. 11, № 12. — С. 44–50.
6. **Белоглазов, И. И.** Изменение постоянной составляющей фазного напряжения при плавке циркониевого корунда / И. И. Белоглазов, А. П. Суслов, А. П. Педро // Цветные металлы. — 2014. — № 5. — С. 86–89.
7. Обзор рынка редких и рассеянных металлов в мире и России, текущее состояние и прогноз развития до 2030 года. — М. : ИнфоМайн, 2014.
8. Обзор проектов по редким металлам России и оценка их реализации. — М. : ИнфоМайн, 2019.
9. **Распопов, Ю. В.** Минерально-сырьевой комплекс России и основные тенденции его развития / Ю. В. Распопов, М. М. Рышков, С. В. Макарюха [и др.] // Разведка и охрана недр. — 2012. — № 9. — С. 23–30.
10. **Левченко, Е. Н.** Прогнозирование технологических свойств титано-циркониевых россыпей России / Е. Н. Левченко. — М. : ИМГРЭ, 2007. — 199 с.
11. **Бабичев, Н. И.** Скважинная технология добычи титано-цирконовых песков Тарского месторождения / Н. И. Бабичев, А. Н. Николаев, Ю. В. Либер [и др.] // Горная промышленность. — 1998. — № 2. — С. 50–54.
12. **Быховский, Л. З.** Циркониевое сырье России: состояние и перспективы освоения минерально-сырьевой базы / Л. З. Быховский, Л. И. Ремизова, О. С. Чеботарева // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. — 2017. — № 2. — С. 11–18.
13. **Машковцев, Г. А.** МСБ металлов для высоких технологий, проблемы и перспективы ее освоения / Г. А. Машковцев, И. Г. Спиридонов // Научно-практическая

конференция «Минерально-сырьевая база металлов высоких технологий. Воспроизводство. Использование», Москва, ВИМС, 3–4 декабря 2019 г.

14. **ИТС 24-2017.** Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Производство редких и редкоземельных металлов.
15. <http://omskfli.ru/mineralno-syrevye-resyrsy-titan-itsirkoij.html>.
16. [https://superomsk.ru/news/83675-v\\_omskoy-oblasti.../](https://superomsk.ru/news/83675-v_omskoy-oblasti.../).
17. <https://www.minsoc.ru/FileBase/E2-2011-6-0.pdf>.
18. **Лаломов, А. В.** Создание минерально-сырьевого центра титанового и циркониевого сырья на территории Центральной России / А. В. Лаломов, А. А. Бочнева, Р. М. Чефранов // Молодой ученый. — 2020. — № 2. — С. 326–332.
19. [www.mrcplast.ru/news-news\\_open358646.html](http://www.mrcplast.ru/news-news_open358646.html).
20. <https://news.rambler.ru/other/41895126-po-vtoromu-krugu-rosatom-.../>.
21. **Федоров, В. Д.** Хлорная технология извлечения и разделения циркония и гафния из цирконовых концентратов Катугинского месторождения / В. Д. Федоров, О. А. Аржаткина, С. З. Кабанов [и др.] // ВНИИХТ — 60 лет. Юбилейный сборник трудов. — М. : Леонардо-Дизайн, 2011. — С. 371–379.
22. **Перфильев, В. В.** Перспективы Зашихинского / В. В. Перфильев, А. О. Селезнев, В. Д. Соколов // Редкие земли. — 2017. — № 1 (8). — С. 17–21.
23. <https://news.rambler.ru/other/41628635-zapusk-goka-.../>.
24. **Соколов, В. А.** Цирконийсодержащие отходы и их использование / В. А. Соколов // Вестник МГОУ. Сер. Техника и технология. — 2013. — № 3. — С. 19–22.
25. **Соколов, В. А.** Перспективы использования вторичного цирконийсодержащего сырья при производстве огнеупоров / В. А. Соколов // Новые огнеупоры. — 2013. — № 9. — С. 8–11.
26. **Шаталов, В. В.** Перспективы сырьевого обеспечения ядерной энергетики России цирконием и гафнием до 2030 года / В. В. Шаталов, В. И. Никонов, М. Л. Кочарь // Атомная энергия. — 2008. — Т. 105, вып. 4. — С. 190–194.
27. **Бобылов, Ю. А.** Редкие металлы и новая стратегия ГК «Росатом» / Ю. А. Бобылов // Атомная стратегия. — 2017. — № 7. — С. 17–20. ■

Получено 07.02.20

© В. А. Соколов, Е. В. Богатырева,  
М. Д. Гаспарян, 2020 г.