УДК 553.6:669

ЛЕГИРУЮЩИЕ МЕТАЛЛЫ РОССИИ. МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВАЯ БАЗА: СОСТОЯНИЕ, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Сообщение 2

*В. С. ПИКАЛОВА, канд. геол.-минерал. наук, ведущий научный сотрудник отдела методики геолого-экономической оценки и разведки месторождений, pikalova@vims-geo.ru;
Л. П. ТИГУНОВ, член-корреспондент РАЕН, главный специалист
отдела методики геолого-экономической оценки и разведки месторождений;
Л. З. БЫХОВСКИЙ, д-р геол.-минерал. наук, главный научный сотрудник
отдела мониторинга МСБ ТПИ и недропользования
(Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского,
Россия, г. Москва)*

Аннотация. Большое значение для легирования стали, алюминия и других цветных металлов и производства различных сплавов имеет группа металлов, в которую входят тантал, редкие земли, бериллий, титан, цирконий, рений, скандий и бор. В России разведанные запасы тантала во много раз превышают потребности предприятий. Наиболее перспективными являются месторождения Зашихинское и Вишняковское в Иркутской области, а также Катугинское в Читинской области. Государственным балансом учтены запасы оксидов редкоземельных металлов (РЗМ) по 20 месторождениям. По величине запасов РЗМ Россия занимает второе место в мире после Китая. Балансовые запасы бериллия учтены в 35 месторождениях в суммарном количестве категорий $A + B + C_1 + C_2$, превышающем мировые подтвержденные запасы. По запасам титана Россия занимает третье место в мире после Китая и Австралии, по запасам циркония — второе после Австралии. Государственным балансом учитывается 36 месторождений титана и 21 месторождение циркония. Рений — наименее обеспеченный запасами и наиболее дефицитный металл. Государственным балансом РФ учтены запасы рения в семи месторождениях: в трех медно-молибденовых, в двух медно-порфириновых, в одном вольфрам-молибденовом и одном собственно рениевом. Запасы скандия в качестве попутного компонента учтены в восьми месторождениях России, половина из которых находится в распределенном фонде недр. Однако наиболее реальным источником скандия являются техногенные образования — красные шламы — отходы глиноземного производства. Большие запасы скандия связаны с отходами железорудного производства на Качканарском ГОКе, которые государственным балансом запасов не учтены. В России учтены запасы трех месторождений борных руд, два из которых находятся в распределенном фонде недр — эксплуатируемое Дальнегорское (Приморский край) и подготавливаемое к освоению Таежное [Республика Саха (Якутия)]. Широкое развитие минералов бора установлено в магнетитовых рудах эксплуатируемых Коршуновского (Иркутская обл.) и Казского (Кемеровская обл.) месторождений.

Ключевые слова: минерально-сырьевая база, балансовые запасы, легирующие металлы, тантал, редкие земли, бериллий, титан, цирконий, рений, скандий, бор.

Ссылка для цитирования: Пикалова В.С., Тигунов Л.П., Быховский Л.З. Легирующие металлы России. Минерально-сырьевая база: состояние, использование, перспективы развития (сообщение 2) // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2019. Т. 75. № 6. С. 675–682.

Doi: 10.32339/0135-5910-2019-6-675-682

ALLOYING METALS OF RUSSIA. MINERAL RAW MATERIALS RESOURCES: STATE, UTILIZATION, PERSPECTIVE OF DEVELOPMENT

Report 2

V. S. PIKALOVA, PhD (Geo.-Min.), Leading Res. Ass., Dpt "Methodology of geological and economic deposits evaluation and their prospecting", pikalova@vims-geo.ru; L. P. TIGUNOV, Correspondent Member of RAEN, Chief Specialist, Dpt "Methodology of geological and economic deposits evaluation and their prospecting"; L. Z. BYKHOVSKII, HD (Geo.-Min.), Chief Res. Ass., Dpt of monitoring MSB TPI and bowels utilization (N.M. Fedorovsky All-Russia R&D Institute of mineral raw materials, Russia, Moscow)

Abstract. A group of metals, including tantalum, rare earth metals, beryllium, titanium, zirconium, rhenium, scandium and boron has a big importance for alloying steel, aluminum and other non-ferrous metals as well as for production of different alloys. In Russia, the explored resources of tantalum by many times exceed the plants' demands. Zashikhinskoe and Vishnyakovskoe deposits in Irkutsk region, as well as Katuginское in Chita region are most promising. The State balance accounts the resources of rare earth metals (REM) oxides by 20 deposits. Russia takes the second place in the world after China by REM resources. The balance resources of beryllium are accounted in 35 deposits, exceeding the world proved resources in the summarized categories A + B + C₁ + C₂. Russia takes the third place in the world after China and Australia by zirconium resources. The state balance accounts 36 deposits of titanium and 21 deposit of zirconium. Rhenium is the least provided by deposits and most demanded metal. The state balance of RF accounts resources of rhenium in seven deposits: three of them being copper-molybdenum deposits, two – copper-porphyrific deposits, one – tungsten-molybdenum deposit and one – purely rhenium deposit. Resources of scandium as an associated component are accounted in eight deposits of Russia, half of the being within the allocated fund of bowels. However, man-caused formations – red sludge – wastes of alumina production – are most real source of scandium. Big resources of scandium are associated with the wastes of iron ore production at Kachkanar mining and concentration plant, which are not accounted by the State balance. Resources of three deposits of boron ores are accounted in Russia, two of the being within the allocated fund of bowels – the Dal'negorskoe (Primorsky region) which utilized, and Tazhnoe (Sakha Republic – Yakutiya), which is being prepared for utilization. A wide distribution of boron minerals ascertained in magnetite ores, developed in Korshunovskoe (Irkutsk region) and Kazskoe (Kemerovo region) deposits.

Key words: mineral raw materials resources, balance resources, alloying metals, tantalum, rare earth metals, beryllium, titanium, zirconium, rhenium, scandium, boron.

For citation: Pikalova V.S., Tiginov L.P., Bykhovskii L.Z. Alloying metals of Russia. Mineral raw materials resources: state, utilization, perspective of development (Report 2). *Chernaya metallurgiya. Byulleten' nauchno-tekhnicheskoi i ekonomicheskoi informatsii = Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*, 2019, vol. 75, no. 6, pp. 675–682. (In Russ.).

Doi: 10.32339/0135-5910-2019-6-675-682

Наряду с металлами, в значительных объемах применяемыми для производства специальных сталей и сплавов, — марганцем, хромом, никелем, ванадием, ниобием, молибденом и вольфрамом, рассмотренными в предыдущей статье [1], выделяется группа металлов, которые в меньшей степени используются для легирования стали, алюминия и других цветных металлов и производства различных сплавов, — тантал,

редкие земли, бериллий, титан, цирконий, бор, рений и скандий [2].

Тантал. Балансовые запасы тантала по состоянию на 01.01.2018 г. учтены в 31 месторождении в суммарном количестве категорий A + B + C₁ + C₂, превышающем мировые подтвержденные запасы. Основные месторождения тантала показаны на рисунке.

Схема размещения месторождений легирующих металлов (Ta, TR, Be, Ti, Zr, B, Re и Sc) России

Diagram of alloying metals (Ta, TR, Be, Ti, Zr, B, Re and Sc) deposits allocation in Russia

Распределенный фонд недр включает пять месторождений, из них эксплуатируется лишь одно — Ловозерское в Мурманской области. Подготавливаются к освоению Зашихинское (Иркутская обл.) и Орловское (Читинская обл.) месторождения. Суммарное количество лицензированных запасов категорий А + В + С₁ + С₂ составляет 14,6 % от балансовых запасов России.

Производство концентратов в последние годы осуществлялось на Ловозерском месторождении в объеме до 35 % от максимального, достигнутого в 1992 г. Извлечение тантала при обогащении составляет 77–80 %. Ежегодно производится около 9 тыс. т лопаритового концентрата, содержащего до 50 т Ta₂O₅. Основной потребитель концентратов — ОАО «Соликамский магниевый завод», где производится тантал металлургического сорта и химические соединения тантала высокой чистоты. Практически вся получаемая продукция реализуется на зарубежном рынке [2–4].

Российские потребители конечной продукции (танталовый порошок, слитки, прокат) в основном приобретают ее в Казахстане в АО «Ульбинский металлургический завод». Текущий объем потребления тантала в России не превышает 50 т/год металла.

В России проблема прироста запасов тантала не является актуальной, так как количество разведанных запасов во много раз превышает потребности предприятий, однако при этом минерально-сырьевая база тантала практически не осваивается. Решением проблемы является повышение спроса на продукты тантала, а также совершенствование разработанных технологических схем обогащения с использованием современного оборудования. Наиболее перспективными являются месторождения: разведанные в Иркутской области Зашихинское (подготавливаемое к освоению) и Вишняковское (нераспределенный фонд), а также Катугинское (нераспределенный фонд) в Читинской области. В случае повышения спроса на тантал освоение любого из этих месторождений позволит полностью удовлетворить потребности предприятий России.

Редкоземельные металлы (РЗМ). Государственным балансом учтены запасы оксидов РЗМ по 20 месторождениям, в том числе одним техногенным. В Катугинском, Ловозерском, Томторском и Чуктуконском месторождениях они входят в число основных компонентов редкометалльных руд комплексного состава, в остальных они являются попутными. Основные месторождения РЗМ показаны на рисунке. По величине запасов РЗМ (~34 млн т TR₂O₃) Россия занимает второе место в мире после Китая [5].

Основной объем балансовых запасов РЗМ приходится на металлы цериевой группы. Ред-

кие земли иттриевой группы в значительной доле (до 40–50 %) присутствуют в рудах Катугинского и Зашихинского месторождений, где среднее содержание оксидов редких земель (РЗО) составляет 0,37 и 0,07 % соответственно. В богатых рудах Томторского месторождения (участок Буранный) содержится 10,59 % РЗО, в том числе 0,6 % Y₂O₃.

Из числа стоящих на государственном балансе отрабатывается лишь Ловозерское месторождение лопаритовых (комплексных Ta–Nb–РЗМ) руд и восемь хибинских месторождений нефелин-апатитовых руд, где РЗМ — попутные компоненты. К освоению подготавливаются четыре месторождения, остальные месторождения относятся к резервным.

В лопаритовых концентратах Ловозерского ГОКа содержится в среднем 32 % РЗО, преимущественно цериевой группы и только около 2–3 % иттриевой. При их переделе на Соликамском магниевом заводе получают индивидуальные оксиды и карбонаты РЗМ (стронций и торий не извлекаются). Экономическая эффективность Ловозерского ГОКа низкая вследствие снижения (почти в 3 раза) производства концентратов после закрытия рудника Умбозеро из-за невысокого качества концентратов и ухудшения горно-геологических условий эксплуатации месторождения [6].

Перспективным источником РЗМ цериевой и иттриевой (10–11 %) групп являются апатитовые концентраты хибинских нефелин-апатитовых месторождений, в которых РЗМ — попутные компоненты — извлекаются в ограниченном количестве и ежегодно списываются с государственного баланса.

Апатитовые концентраты перерабатываются по двум технологиям вскрытия — азотно- и серноокислотной (~85 % концентратов). Азотнокислотная переработка дает возможность получать наряду с азотными и фосфатными удобрениями концентрат РЗМ и стронций. При переработке серноокислотным методом 50–60 % РЗМ переходит в экстракционную фосфорную кислоту (ЭФК), остальное — в фосфогипс — отход переработки апатитового концентрата, который накапливается в значительных количествах, загрязняя окружающую среду. Сегодня значительное внимание привлечено к вопросу попутного извлечения редких земель при переработке ЭФК на удобрения, а также к проблеме комплексного использования фосфогипса с получением широкого спектра нерудной продукции, стронция и РЗМ. Работы ведутся ИХТРЭМС, ВИМС, ВНИИХТ и другими организациями [6].

В настоящее время в Чепецке и Новгороде построены опытно-промышленные установки по извлечению РЗМ из апатитовых концентратов мощностью 12 и 200 т/год TR₂O₃ соответственно.

При комплексной переработке всего производимого в России объема апатитового концентрата можно получить до 45 тыс. т РЗО, а также до 75 тыс. т оксида стронция и до 30 тыс. т фторидных солей.

Другими реальными источниками РЗМ являются монацитовые концентраты госрезерва в количестве 82 тыс. т, хранящиеся в Красноуфимске Свердловской области, монацит из титанциркониевых россыпей Туганского месторождения в Томской области, куларит (разновидность монацита с повышенным содержанием европия и низким — тория) из хвостов обогащения золотоносных россыпей Куларского района Республики Саха (Якутия).

Ежегодный объем потребления РЗМ в России не превышает 2 тыс. т; конечная редкоземельная продукция в стране почти не производится, а необходимое ее количество импортируется из Китая. В 2020–2025 гг. возможно увеличение потребности в коллективных редкоземельных продуктах и в индивидуальных РЗМ: по разным оценкам, ежегодная потребность в редких землях может составить от 5 до 20 тыс. т (наиболее вероятно — 7 тыс. т).

Для удовлетворения потребностей предприятий России в РЗМ достаточно поддерживать функционирование Ловозерского комбината, а также начать масштабное комплексное использование хибинских апатитовых концентратов. Для наращивания объемов производства РЗМ целесообразно организовать переработку техногенного сырья (фосфогипс, красные шламы); в перспективе возможно освоение Катугинского и Аллуайвского месторождений. Обязательным условием производства редкоземельной продукции в России из отечественного сырья является создание собственных мощностей по химико-металлургическому переделу концентратов РЗО с разделением на группы и дальнейшим получением наиболее востребованных промышленностью индивидуальных металлов (Nd, Pr, Sm, Eu, Gd, Y).

Бериллий. Балансовые запасы бериллия учтены в 35 месторождениях в суммарном количестве категорий А + В + С₁ + С₂, превышающем мировые подтвержденные запасы. Прогнозные ресурсы превышают количество балансовых запасов. Размещение основных месторождений показано на рисунке.

Распределенный фонд недр включает шесть месторождений, из них четыре эксплуатируются на другие компоненты, два подготавливаются к освоению. Суммарное количество лицензированных запасов категорий А + В + С₁ + С₂ составляет 43,8 % от балансовых запасов России.

Добыча руды и производство концентратов в России не ведется. Корпорация “Металлы Восточной Сибири” (входит в группу компаний “Мет-

рополь”) в 2005 г. приобрела лицензию на разработку Ермаковского месторождения в Республике Бурятия, являющегося единственным крупным месторождением (6,1 % от запасов) с богатыми рудами, и планировала строительство комбината для производства конечной бериллиевой продукции [7]. В 2013 г. был заключен договор на переработку руды с Забайкальским горно-обогатительным комбинатом, имеющим необходимые производственные мощности для возобновления производства. По договору компания должна перерабатывать не менее 50 тыс. т/год фтор-бериллиевых руд с получением флюоритового и бериллиевого флотоконцентратов. Бериллиевый концентрат планировалось по толлингу поставлять в Казахстан на Ульбинский металлургический завод (АО УМЗ Национальной атомной компании “Казатомпром”) для производства металлического бериллия [2]. В 2014 г. с “Казатомпром” было подписано соответствующее соглашение. Однако по настоящее время отработка месторождения не начата, а в актуализированной лицензии срок ввода месторождения в эксплуатацию не установлен.

Российские потребители конечной продукции (слитки, порошок, лигатуры — Be-Cu, Be-Al, Be-Ni, оксид бериллия в виде порошка, керамики) в основном приобретают ее в Казахстане в АО УМЗ. Суммарное количество закупленной российскими предприятиями этой продукции находится на уровне 25 т/год металла. С учетом возможного использования дополнительных источников бериллиевой продукции (складские запасы предприятий) текущий объем потребления бериллия в России может составить около 40 т/год металла.

Возможными объектами освоения являются крупнейшие редкометалльно-(Be, Li, Rb, Cs)-флюоритовые Вознесенское и Пограничное месторождения (Приморский край), включающие не менее 15 % балансовых запасов бериллия. В конце 2013 г. последний владелец лицензии — ООО “Ярославская горнорудная компания” — прекратил добычные работы на месторождениях — с 2014 г. они находятся в стадии консервации. При эксплуатации объектов бериллий, литий, рубидий и цезий не извлекались, эти попутные компоненты, концентрирующиеся в отходах флюоритовой флотации, складировались в хвостохранилищах, в настоящее время представляющих собой крупное техногенное редкометалльное месторождение. При возобновлении добычи флюорита и переработке только текущих хвостов обогащения можно полностью удовлетворить потребность России в бериллии и литии.

Титан. Титановые концентраты (первая товарная продукция) используются для производства пигментного диоксида титана (90–95 %), металлического титана и его сплавов, ферротитана

и сварочных электродов (5–10 %). Титан является основным легирующим элементом при производстве кислотоупорных сталей.

Мировая потребность в титановом сырье обеспечена подтвержденными запасами более чем на 150 лет. Россия по запасам занимает третье место в мире после Китая и Австралии. Собственно титановая горнодобывающая промышленность в стране отсутствует. Осуществляется только попутная добыча с извлечением титана из лопаритовых руд Ловозерского месторождения, что составляет всего около 0,4 % мирового производства (до 2,6 тыс. т/год титана).

Вместе с тем в России функционирует одно из самых крупных предприятий в мире по производству титановой губки, металлического титана и его сплавов (до 30 % мирового рынка). Российские производители этой продукции (ВСМПО АВИСМА, включающее Березниковский титаномагнийский комбинат и Верхнесалдинское металлургическое производственное объединение) работают на импортном сырье. Ряд предприятий России производит ферротитан, большая часть которого также экспортируется.

Производство пигментного диоксида титана в России ведется по сульфатной технологии на заводе компании ООО «Титановые инвестиции» в Армянске (Республика Крым), работающем на импортных ильменитовых концентратах. Проектная производительность армянского завода — 80 тыс. т/год пигментного диоксида титана, около половины которого экспортируется.

Для удовлетворения прогнозных потребностей предприятий России необходимо производить более 500 тыс. т титановых концентратов, в том числе около 200 тыс. т/год для производства металлического титана, ферросплавов, лигатур и около 300 тыс. т/год для изготовления пигментного диоксида титана.

Государственным балансом РФ учитывается 36 месторождений титана. Общие балансовые запасы титана (в пересчете на TiO_2) составляют: категории A + B + C₁ — 260,8 млн т; категории C₂ — 340,3 млн т. Балансовые запасы представлены двумя типами: россыпными (17 месторождений) — 4,2 % и коренными (19 месторождений) — 95,8 % категорий A + B + C₁. Размещение основных месторождений титана показано на рисунке.

На долю 20 месторождений (13 коренных и 7 россыпных), находящихся в распределенном фонде недр, приходится 45 % запасов диоксида титана категорий A + B + C₁, из них 8 — разрабатываемых (в том числе 6 на другие компоненты), 8 — подготавливаемых к освоению и 4 — разведываемые.

Запасы россыпных месторождений представлены песками циркон-рутил-ильменитового и ильменитового состава. Месторождения титана

в коренных породах представлены следующими геолого-промышленными типами: ильменит-титаномагнетитовым, апатит-ильменит-титаномагнетитовым, ильменитовыми песчаниками, титаномагнетитовым, лопаритовым, лейкоксен-кварцевыми нефтеносными песчаниками и апатит-нефелиновым с титаномагнетитом и сфеном. Три последних типа месторождений не являются собственно титановыми и только из лопаритовых руд попутно извлекается титан [8].

При значительных запасах титана минерально-сырьевая база России представлена в основном титаномагнетитовыми рудами, не востребованными металлургической промышленностью. В титаномагнетитовых месторождениях содержится 28,5 % запасов титана категорий A + B + C₁.

Несмотря на относительно малую долю россыпей в запасах титана, их количество достаточно для удовлетворения текущих потребностей отечественной промышленности в металлическом титане и его сплавах. Первоочередными объектами освоения являются россыпные месторождения — подготавливаемое к освоению Туганское и находящееся в нераспределенном фонде Бешпагирское (Ставропольский край).

«Росатом» на базе титан-циркониевых песков Туганского месторождения планирует построить к 2021 г. в Северске завод по производству пигментного диоксида титана с выходом в 2022 г. на проектную мощность в 10 тыс. т/год.

Компания «Петропавловск – Черная Металлургия» в начале 2000-х годов на базе Куранахского месторождения (Амурская обл.) построила Олекминский горно-обоганительный комбинат, на котором с 2010 г. производился не только титаномагнетитовый, но и ильменитовый концентрат [9]. Ежегодное производство ильменитового концентрата с содержанием 50 % TiO_2 достигало 180 тыс. т, продукция экспортировалась в Китай. В настоящее время рудник законсервирован по причине отсутствия потребителей в России.

Таким образом, имеются все предпосылки для дальнейшего развития в стране металлургического производства, а также создания крупномасштабного производства пигментного диоксида титана.

Цирконий. По количеству балансовых запасов Россия занимает второе место в мире после Австралии. Госбалансом учтено 21 месторождение циркония (6 коренных и 15 россыпных) и 1 техногенное. Руды коренных месторождений содержат железо, фосфор, тантал, ниобий, РЗМ; в россыпных цирконий концентрируется совместно с титаном (см. рисунок). Основная часть запасов циркония (68,9 % запасов категорий A + B + C₁ + C₂) сосредоточена в коренных месторождениях (за рубежом 95 % в россыпях) [10].

Циркониевое сырье (бадделейт) в промышленном масштабе добывается попутно с магнетитом и апатитом из комплексных руд Ковдорского месторождения в Мурманской области (до 9,5 тыс. т/год). В настоящее время Россия — единственный в мире производитель бадделейтового концентрата, более 95 % которого экспортируется [11].

На подготавливаемом к освоению Туганском месторождении (Томская обл.) велась опытно-промышленная добыча рудных песков, из которых на обогатительной фабрике производились цирконовый и коллективный титановый концентраты, каолиновый продукт, а также кварцевые пески. 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 производить 3,3 тыс. т/год цирконового концентрата. При достижении заложенной в ТЭО годовой производственной мощности предприятия в 3 млн т руды производство цирконового концентрата может возрасти до 20 тыс. т.

На месторождении Центральное (Тамбовская обл.) в 2017 г. компанией ООО «ГПК «Титан» проведена экономическая оценка целесообразности освоения, которая показала низкую рентабельность проекта в современных рыночных условиях. Работы на других осваиваемых и разведываемых объектах в последние годы не проводились.

В настоящее время страна импортирует до 11 тыс. т/год цирконового концентрата, в основном из Украины. Основным их потребителем является АО «Чепецкий механический завод».

Минерально-сырьевая база циркония России может обеспечить потребности отечественной промышленности в цирконовом концентрате за счет разведанных и подготовленных к эксплуатации россыпных месторождений, для чего достаточно ввода в эксплуатацию всего одного из них. Для обеспечения рентабельности освоения необходимо провести технологические испытания по доводке основной товарной продукции до уровня качества, отвечающего требованиям основных потребителей, а также найти возможность реализации попутной продукции, получаемой при обогащении рудных песков месторождений россыпного циркона.

Рений наименее обеспеченный запасами и наиболее дефицитный редкий металл [12]. В России он является стратегическим видом минерального сырья и традиционно относится к попутным компонентам медно-колчеданных, медно-молибденовых и урановых руд. Запасы рения (первые десятки тонн категорий $C_1 + C_2$) государственным балансом запасов России учтены в семи месторождениях: в трех медно-молибденовых, в двух медно-порфировых, в одном

вольфрам-молибденовом и в одном собственно рениевом — Брикетно-Желтухинском месторождении (Рязанская обл.).

Рентабельным и реальным может быть извлечение рения только из одного медно-порфирового Ак-Сугского, а возможно и Михеевского месторождений. Также источником металла могут стать руды Брикетно-Желтухинского уран-молибден-рениевого месторождения, где содержание рения составляет 3 г/т [13].

В последние годы выявлена рениевая минерализация нетрадиционного генетического типа на вулканах Курильских островов [2]. По данным ФГУП ИМГРЭ, концентрация рения в фумарольных газах вулкана Кудрявый достигает 5 г/т, из них ежегодно можно извлекать до 5 т рения. Однако целесообразность и рентабельность организации предприятия на вулкане с целью получения рения является проблематичной.

В Ленинградской области проведены целевые поиски месторождений рения: в пластовых фосфоритах содержание металла составляет 145 г/т, в дикионемовых сланцах — 120 г/т. Оценены прогнозные ресурсы категорий P_1 и P_2 .

В СССР производство рения достигало 10 т/год. Основным источником его получения были молибденовые концентраты Армении и Казахстана, в которых содержание рения составляло 400–700 г/т. В настоящее время поставки этих концентратов прекращены, производство осуществляется из вторичного сырья.

Скандий. Основным источником скандия в СССР были урановые руды (фосфатно-редкоземельно-урановые) и отходы обогащения ильменитовых концентратов; ежегодно производилось до 10 т Sc_2O_3 , когда его производство во всем остальном мире не превышало 1 т.

В настоящее время государственным балансом запасы скандия в качестве попутного компонента учтены в восьми месторождениях, половина из которых находится в распределенном фонде недр. Два месторождения (коренные) — оловянное Фестивальное (Хабаровский край) и урановое Далматовское (Курганская обл.) — разрабатываются на другие компоненты. При отработке первого скандий концентрируется в оловянном концентрате, при переработке которого не извлекается. На Далматовском месторождении продолжают опытно-промышленные работы по попутному извлечению скандия из растворов подземного выщелачивания урана.

Подготавливаются к освоению россыпное циркон-рутил-ильменитовое Туганское месторождение (Южно-Александровский и Кусковско-Ширяевский участки) и редкометальное Томторское месторождение (участок Буранный). Данные объекты представляют интерес как потенциальные источники скандия.

Однако наиболее реальным источником скандия являются техногенные образования — красные шламы (КШ) — отходы глиноземного производства, ежегодно в громадном количестве получающиеся при переработке бокситов. Накопленные запасы КШ (в России — более 200 млн т) представляют не только источник получения различных полезных компонентов (наряду с оксидами железа присутствуют титан, алюминий, кремний, кальций, цирконий, лантаноиды, скандий, иттрий, галлий, золото), но и серьезную экологическую проблему (содержат различные токсичные вещества и радиоактивные элементы). Вопросом утилизации КШ с получением широкого спектра товарной продукции занимались многие институты России (УРО РАН, УГГРИ, ВНИИХТ, ИМет им. А.А. Байкова и др.), которыми предложены различные технологические схемы переработки шламов [6]. В 2014 г. “Русал” запустил на Уральском алюминиевом заводе опытно-промышленную установку по производству скандия из КШ. Первая партия оксида скандия чистотой более 99 % получена в 2016 г. В настоящее время продолжаются работы по усовершенствованию и оптимизации технологии, а до конца 2018 г. планировалось завершить разработку ТЭО строительства промышленного модуля по производству оксида скандия из КШ на одном из российских заводов.

Большие запасы скандия связаны с отходами железорудного производства на Качканарском ГОКе (Гусевское месторождение титаномагнетитовых руд), которые государственным балансом запасов не учтены. Технология извлечения скандия из хвостов этого ГОКа разработана ВНИИХТ. При переработке текущих хвостов (~35 тыс. т/год) выпуск товарного оксида скандия марки ОС-99 может составить около 3 т/год.

Россия обладает реальными источниками скандиевого минерального сырья и имеет возможность сохранить статус главного производителя высококачественных скандиевых продуктов на многие десятилетия.

Бор. Содержание бора во многих современных конструкционных сталях составляет 0,001–

0,02 %. Но даже столь незначительные его содержания вызывают повышение жаропрочности, твердости и износостойкости сталей, улучшается их свариваемость.

В России учтены запасы трех месторождений борных руд, два из которых находятся в распределенном фонде недр — эксплуатируемое Дальнегорское (Приморский край) и подготавливаемое к освоению Таежное [Республика Саха (Якутия)] [14].

88 % балансовых запасов сосредоточено в датолитовых рудах Дальнегорского месторождения с содержанием B_2O_3 9,61 %. Магнетит-боровая руда Таежного месторождения содержит 3,2 % B_2O_3 , боросиликатные руды Золотого Кургана (нераспределенный фонд) — 4,6 % B_2O_3 .

Прогнозные ресурсы бора относятся к двум геолого-промышленным типам — галогенному боратовому и скарновому борат-магнетитовому. Ресурсы всех категорий превышают 7,9 млрд т (в Приволжском, Южном и Сибирском ФО). Значительный интерес представляют гидроминеральные ресурсы (Непское месторождение калийных солей в Иркутской области).

Широкое развитие минералов бора установлено в магнетитовых рудах эксплуатируемых Коршуновского (Иркутская обл.) и Казского (Кемеровская обл.) месторождений.

Россия экспортирует до 500 тыс. т легированных бором сталей.

Таким образом, минерально-сырьевая база металлов, а также техногенных образований (месторождений) России, применяемых для производства специальных сталей и сплавов, способна удовлетворять текущие потребности российских предприятий, однако их рудная база требует своего освоения и дальнейшего развития. Необходимы также дальнейшие геологоразведочные работы с целью воспроизводства погашенных при добыче запасов и выявления новых месторождений с лучшими технологическими и технико-экономическими показателями их освоения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тигунов Л.П., Пикалова В.С., Быховский Л.З. Легирующие металлы России. Минерально-сырьевая база: состояние, использование, перспективы развития // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2017. № 12 (1416). С. 3–10.
2. Бортников Н.С., Волков А.В., Галямов А.Л. и др. Минеральные ресурсы высокотехнологичных металлов в России: состояние и перспективы развития // Геология рудных месторождений. 2016. Т. 58. № 2. С. 97–119.
3. Быховский Л.З., Архипова Н.А. Рудная база стратегических редких металлов России: состояние, перспективы освоения и развития // Горный журнал. 2017. № 7. С. 4–10.
4. Архангельская В.В., Рябцев В.В., Шурига Т.Н. Геологическое строение и минералогия месторождений тантала России // Минеральное сырье. 2012. № 26. — 191 с.
5. Verplanck P.L., Hitzman M.W. Rare Earth and Critical Elements in Ore Deposits // Reviews in Economic Geology. 2016. V. 18. — 365 p.

6. Быховский Л.З., Потанин С.Д., Котельников Е.И. и др. Редкоземельное и скандиевое сырье России // Минеральное сырье. 2016. № 31. — 217 с.
7. Мелентьев Г.Б., Стрекопытов В.В. Металл космической эры // Редкие земли. 2018. № 1 (9). С. 106–111.
8. Машковцев Г.А., Быховский Л.З., Ремизова Л.И. и др. Об обеспечении промышленности России титановым сырьем // Минеральные ресурсы России: экономика и управление. 2016. № 5. С. 9–15.
9. Спорыхина Л.В., Быховский Л.З., Чеботарева О.С. Нетрадиционные источники титана: критерии выделения, проблемы использования // Минеральные ресурсы России: экономика и управление. 2019. № 1. С. 24–30.
10. Государственный доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2016 и 2017 годах. — М.: Министерство природных ресурсов и экологии РФ, 2018. — 370 с.
11. Быховский Л.З., Ремизова Л.И., Чеботарева О.С. Циркониевое сырье России: состояние и перспективы освоения минерально-сырьевой базы // Минеральные ресурсы России: экономика и управление. 2017. № 2. С. 11–18.
12. Désirée E. Polyak. Rhenium // Reviews in Mineral Commodity Summaries 2018: U.S. Geological Survey, 2018. — 200 p.
13. Карась С.А., Кременецкий А.А., Орлов С.Ю. и др. Новый геолого-промышленный тип гидрогенных месторождений рения // Разведка и охрана недр. 2017. № 8. С. 20–27.
14. Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации на 1 января 2018 года. Вып. 57. Борные руды. — М.: Министерство природных ресурсов и экологии РФ, 2018. — 22 с.

Поступила 21 марта 2019 г.

REFERENCES

1. Tiginov L.P., Pikalova V.S., Bykhovskii L.Z. Alloying metals of Russia. Mineral and raw material base: state, use, development prospects. *Chernaya metallurgiya. Byulleten' nauchno-tekhnicheskoi i ekonomicheskoi informatsii = Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*, 2017, no. 12 (1416), pp. 3–10. (In Russ.).
2. Bortnikov N.S., Volkov A.V., Galyamov A.L. etc. Mineral resources of high-tech metals in Russia: state and development prospects. *Geologiya rudnykh mestorozhdenii*, 2016, vol. 58, no. 2, pp. 97–119. (In Russ.).
3. Bykhovskii L.Z., Arkhipova N.A. Ore base of strategic rare metals of Russia: state, development and development prospects. *Gornyi zhurnal*, 2017, no. 7, pp. 4–10. (In Russ.).
4. Arkhangel'skaya V.V., Ryabtsev V.V., Shuriga T.N. Geological structure and mineralogy of tantalum deposits in Russia. *Mineral'noe syr'e*, 2012, no. 26, 191 p. (In Russ.).
5. Verplanck P.L., Hitzman M.W. Rare Earth and Critical Elements in Ore Deposits. *Reviews in Economic Geology*, 2016, vol. 18, 365 p.
6. Bykhovskii L. Z., Potanin S.D., Kotel'nikov E.I. etc. Rare-earth and scandium raw materials of Russia. *Mineral'noe syr'e*, 2016, no. 31, 217 p. (In Russ.).
7. Melent'ev G.B., Strekopytov V.V. Space Age Metal. *Redkie zemli*, 2018, no. 1 (9), pp. 106–111. (In Russ.).
8. Mashkovtsev G.A., Bykhovskii L.Z., Remizova L.I. etc. On providing industry with titanium raw materials in Russia. *Mineral'nye resursy Rossii: ekonomika i upravlenie*, 2016, no. 5, pp. 9–15. (In Russ.).
9. Sporykhina L.V., Bykhovskii L.Z., Chebotareva O.S. Unconventional sources of titanium: selection criteria, problems of use. *Mineral'nye resursy Rossii: ekonomika i upravlenie*, 2019, no. 1, pp. 24–30. (In Russ.).
10. *Gosudarstvennyi doklad o sostoyanii i ispol'zovanii mineral'no-syr'evykh resursov Rossiiskoi Federatsii v 2016 i 2017 godakh* [State report on the state and use of mineral resources of the Russian Federation in 2016 and 2017]. Moscow: Ministerstvo prirodnnykh resursov i ekologii RF, 2018, 370 p. (In Russ.).
11. Bykhovskii L.Z., Remizova L.I., Chebotareva O.S. Zirconium raw materials in Russia: the state and prospects for the development of the mineral resource base. *Mineral'nye resursy Rossii: ekonomika i upravlenie*, 2017, no. 2, pp. 11–18. (In Russ.).
12. Désirée E. Polyak. Rhenium. Reviews in Mineral Commodity Summaries 2018: U.S. Geological Survey, 2018, 200 p.
13. Karas' S.A., Kremenetskii A.A., Orlov S.Yu. etc. New geological and industrial type of hydrogenic deposits of rhenium. *Razvedka i okhrana nedr*, 2017, no. 8, pp. 20–27. (In Russ.).
14. *Gosudarstvennyi balans zapasov poleznykh iskopaemykh Rossiiskoi Federatsii na 1 yanvarya 2018 goda. Vyp. 57. Bornye rudy* [State balance of mineral reserves of the Russian Federation on January 1, 2018. Issue 57. Boric ore]. Moscow: Ministerstvo prirodnnykh resursov i ekologii RF, 2018, 22 p. (In Russ.).

Received March 21, 2019