

5. Реализовать комплекс мероприятий, направленных на повышение инвестиционной привлекательности и эффективности горной добычи и переработки минерального сырья, в том числе:

— пересмотр методики расчета стартового размера разового платежа за пользование участком недр с целью оптимизации его размера;

— устранение режима секретности для сведений о запасах и добыче полезных ископаемых;

— включение объектов, содержащих комплексные труднообогатимые руды металлов, в перечень трудноизвлекаемых полезных ископаемых, для которых возможно выполнение опытных работ по добыче и переработке на ранних стадиях геологического изучения;

— привлечение государства к созданию энергетической, транспортной и производственной инфраструктуры в неосвоенных районах действующих, проектируемых и строящихся ГОКов;

— усиление на законодательном уровне государственной поддержки хозяйствующих субъектов, занимающихся переработкой отходов промышленных производств.

6. Считать необходимым оказание всесторонней поддержки со стороны государственных органов управления в предусмотренных законодательством формах следующим проектам:

— подготовки к освоению редкометалльных Томторского, Зашихинского и других объектов;

— производства индивидуальных оксидов и карбонатов РЗМ из лопаритового концентрата с учетом необходимости модернизации и развития горно-обогатительного и передельного производств на Ловозерском ГОКе и Соликамском магниевом заводе;

— попутного извлечения редкоземельных металлов из апатитового сырья с целью существенного увеличения его объемов;

— вовлечения в недропользование титан-циркониевых россыпных месторождений, коренных месторождений лития и источников лития, связанных с пластовыми водами нефтегазовых месторождений, комплексных РЗЭ-циркониевых месторождений эвдиалитового типа, комплексных никель-кобальтовых со скандием месторождений латеритного типа;

— переработки техногенных отходов как базового элемента формирования экономики замкнутого цикла.

7. Предусмотреть в рамках реализации государственной программы Российской Федерации «Воспроизводство и использование природных ресурсов» постановку геологоразведочных работ поисковой стадии за счет средств федерального бюджета, нацеленных на выявление месторождений металлов высоких технологий, высоколиквидных видов цветных металлов, а также на переоценку запасов ряда редкометалльных месторождений.

8. Обеспечить усиление научно-исследовательских и тематических работ по созданию технологий эффективного промышленного освоения нетрадиционных месторождений металлов высоких технологий и отхо-

дов горно-перерабатывающего и металлургического производств.

9. Проработать, используя отечественный опыт и современную зарубежную практику, возможность создания межотраслевого геотехнологического центра для проведения пилотных и укрупненных технологических испытаний труднообогатимых комплексных руд с целью разработки экономически эффективных технологических схем переработки первичного сырья.

10. Учитывая, что развитие отечественной редкометалльной промышленности полного технологического цикла требует консолидации всего экспертного сообщества — производителей, потребителей, трейдеров, научных организаций, органов государственной власти, — безусловно поддержать инициативы по созданию Ассоциации производителей и потребителей редких и редкоземельных металлов; по разработке Минпромторгом России Стратегии развития отрасли редких и редкоземельных металлов Российской Федерации на период до 2035 года; по разработке Госкорпорацией «Росатом» продуктового направления «Редкие и редкоземельные металлы» дорожной карты развития высокотехнологичной области «Технологии новых материалов и веществ»; по разработке ГНЦ ФГУП «ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина» совместно с металлургическими предприятиями «Межотраслевой программы работ по освоению новых видов продукции металлургии с использованием редких и редкоземельных металлов на период 2020–2035 гг.».

Реализация изложенных рекомендаций должна способствовать существенному увеличению производства руд и концентратов металлов для высоких технологий и конечной продукции из них, снижению зависимости от зарубежных источников в стратегических материалах и изделиях, восстановлению технико-технологической компетенции в этой области, а, главное, обеспечению планируемого инновационного развития страны.

УДК 339.13: 669.15-198: 546.6: 546.7: 546.8

Волков А.И. (ГНЦ ФГУП «ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина»)

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ В ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Рассмотрены сферы применения редких металлов в черной металлургии. Приведены данные по объему их производства и потребления для производства ферросплавов, стали и других сплавов. Отмечено, что практически для всех редких элементов, кроме ниобия, наблюдается значительное снижение их потребления для производства стали и сплавов по сравнению с временами СССР (от 2 до 10 раз). Обсуждены проблемы производства ферросплавов, инструментальных, нержавеющей, быстрорежущих, конструкционных сталей. Рассмотрены вопросы

минерально-сырьевой базы, проблемы обеспечения сырьевыми материалами производства сплавов, содержащими редкие металлы. Представлены результаты расчетов экспорта и импорта изделий, получаемых из металлургической продукции с редкими металлами. Выявлена зависимость России от поставок конечных изделий с редкими металлами и экспортноориентированная модель производства сплавов с редкими металлами. **Ключевые слова:** редкие металлы, ферросплавы, лигатуры, сталь, анализ рынка, баланс производства и потребления, минерально-сырьевая база, концентраты металлов, металлургическое производство, ниобий, ванадий, титан, молибден, вольфрам, цирконий, редкоземельные металлы, скандий.

Volkov A.I. (Bardin Central Research Institute of Ferrous Metallurgy)

POSITION AND PROSPECTS OF USING RARE METALS IN FERROUS METALLURGY

*Areas of application of rare metals in ferrous metallurgy are considered. Data on the volume of their production and consumption for the production of ferroalloys, steel and other alloys are given. It is noted that for almost all rare elements, except niobium, there is a significant decrease in their consumption for the production of steel and alloys in comparison with the times of the USSR (from 2 to 10 times). The problems of production of ferroalloys, tool, stainless, high-speed, structural steels were discussed. The issues of mineral resource base, problems of providing raw materials for the production of alloys containing rare metals are considered. The results of calculations of exports and imports of products obtained from metallurgical products with rare metals are presented. The dependence of Russia on the supply of end products with rare metals and export-oriented model of production of alloys with rare metals was revealed. **Keywords:** rare metals, ferroalloys, ligatures, steel, market analysis, balance of production and consumption, mineral resource base, metal concentrates, metallurgical production.*

В 2019 г. нам посчастливилось отмечать несколько юбилейных дат. 80 лет назад был образован Научно-исследовательский институт качественных сталей и ферросплавов (НИИКСиФ), на базе которого уже в 1944 г. создали Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П. Бардина. В этом году ему исполнилось 75 лет [10]. Первым директором Института ферросплавов в составе ЦНИИчермета был Иван Фёдорович Красных (рис. 1) — выдающийся организатор ферросплавной промышленности, строитель и первый директор Челябинского ферросплавного завода, директор Ключевского завода ферросплавов; директор проектируемого Беговатского завода ферросплавов в Узбекистане. Кроме этого, 150 лет назад в 1869 г. великий русский ученый Дмитрий Иванович Менделеев установил зависимость свойств химических элементов от их атомного веса (заряда ядра атома), предложил первый вариант периодической таблицы химических элементов. Поэтому 2019 г. провозглашен Генеральной ассамблеей ООН

Международным годом периодической таблицы химических элементов.

Одним из направлений деятельности ГНЦ ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина» является разработка лигатур и сталей с редкими металлами (РМ), а также создание технологий переработки минерального сырья с РМ. В настоящее время в ГНЦ ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина» ведутся работы в области новых материалов, содержащих РМ. В работе [2] отмечено, что в настоящее время нет единого общепризнанного перечня редких металлов. В справочнике [7] приведен наиболее распространенный перечень РМ, включающий следующие группы элементов: легкие, тугоплавкие, рассеянные, редкоземельные и радиоактивные.

Ключевой отраслью, которая способствует увеличению объемов производства и потребления РМ, в т.ч. редкоземельных (РЗМ), является черная металлургия (табл. 1). РМ применяют для легирования, раскисления и модификации различных марок стали, чугуна, производства огнеупорных материалов, применяемых в черной металлургии. Поэтому актуальной задачей при реализации мер поддержки отрасли производства РМ является анализ состояния использования РМ именно в черной металлургии.

Ниобий

Ниобий в виде феррониобия (содержит 50–65 % Nb) применяется для производства жаропрочных сталей в авиации, нержавеющей низколегированных сталей в машиностроении, судостроении, трубной промышленности (составляет около 85 % мирового потребления, 93 % в России). Применение ниобия в низколегированных сталях повышает их прочность на 20 % и использование таких сталей для газопроводных труб большого диаметра в 1,5 раза повышает их производительность, а также значительно снижает расходы при их эксплуатации.

Единственный отечественный источник сырья — пентаоксид ниобия Соликамского магниевого завода (636 т в 2018 г.), получаемый из лопаритового концентрата Ловозерского горно-обогатительного комбината, выпускается в недостаточном количестве и по своей

Доля потребления (от объема российского рынка) редких металлов в черной металлургии России в 2017–2018 гг.

Nb	V	Mo	W	Ti	РЗМ
93,0 %	78,1 %	66,7 %	64,7 %	27,0 %	13,1 % ¹

¹для РЗМ приведено суммарное потребление для черной и цветной металлургии



Рис. 1. Иван Фёдорович Красных

чистоте предназначен для получения металлического ниобия.

С 1997 г. потребление ниобия в черной металлургии России возросло почти в 40 раз и составило 4250 т в 2017 г. и 2060 т в 2018 г. (в среднем 2965 т за 2010-е годы). Такой рост обусловлен несколькими причинами, одна из них связана с политикой основного поставщика ниобия компании СВММ по захвату рынка и вытеснению из него ванадия. Другой причиной роста потребления ниобия в России стал технологический прорыв в трубной отрасли. Ее производственные мощности возросли с 7,6 млн т в 2000 г. до 14,4 млн т в 2010 г., а доля импортных труб в АО «Газпром» снизилась с 30 до 4 %, у нефтяных компаний с 20 до 3 % [6]. В результате потребление ниобия на тонну стали возросло с 5,6 в 1970-х гг. до 40,0 г/т в настоящее время.

Серьезной проблемой является практически полная зависимость отечественной черной металлургии от импортных поставок феррониобия (в среднем 98,5 % от объема потребления в 2010–2018 гг.). Основными поставщиками являются бразильская компания Companhia Brasileira de Metalurgia e Mineração (СВММ) и канадская Niobes. Объемы поставок первой составляют от 80 до 95 % от всего объема импорта. Собственное производство феррониобия незначительное и составляет от 50 до 100 т [1] против 350 т в год в 1970-е годы в пересчете на ниобий. Основные производители — Ключевский завод ферросплавов (п. Двуреченск), Вишневогорский металлургический завод «Северный ниобий» (п. Вишневогорск) и «Молирен» (г. Рошаль). Кроме них сплавы ниобия выпускает компания «Гранком» (г. Кулебаки). Мощности по выпуску ниобиевых лигатур и металлического ниобия имеют не менее шести предприятий.

Специалисты ГНЦ ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина» участвовали во многих ниобиевых проектах — от внедрения металлургических процессов получения редких ферросплавов на Ключевском заводе ферросплавов до организации опытного производства на Белозиминском месторождении. В последние годы проведены работы по получению феррониобия из руд Большетагнинского [13], Томторского и Зашихинского месторождений. Реализация хотя бы одного из этих проектов позволит полностью обеспечивать феррониобием отечественную черную металлургию.

Цирконий

Наиболее массовой сталью с цирконием является сталь марки 20ХГ2Ц, которую применяют для изготовления высокопрочной арматуры предварительно напряженного железобетона. Арматура из этой стали используется в строительных конструкциях ответственного назначения, работающих в сложных условиях (районы Севера) — высокая механическая прочность при температурах ниже -30 °С. Значительная часть циркониевой продукции используется в керамической и фаянсовой промышленности, в огнеупорном и литейном производстве.

Российские потребители цирконового концентрата практически полностью работают на импортном

сырье (6,7–9,9 тыс. т в год). Основными поставщиками по-прежнему являются Украина (45 %) и Нидерланды (29 %). Единственное сырье в России — бадделеитовый концентрат на 95–98 % экспортируется (7,2–7,8 тыс. т в год) [5].

Низкое потребление циркония черной металлургией связано с его высокой стоимостью и доминированием на рынке огнеупоров и вставок для стаканов-дозаторов машин непрерывного литья заготовок зарубежных компаний. Потребление циркония для производства стали значительно снизилось с 7,23 в 1970-х годах до 0,67 г/т в настоящее время. Ключевским заводом ферросплавов выпускались силикоцирконий (40 % Zr) и алюминий-циркониевая лигатура (15 % Zr) в количестве около 460 т ежегодно в пересчете на цирконий.

Минерально-сырьевая база циркония России может обеспечить потребности отечественной промышленности в циркононом концентрате за счет разведанных и подготовленных к эксплуатации россыпных месторождений. Необходимо при участии специалистов ГНЦ ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина» проводить технологические испытания циркониевых руд с получением товарной продукции, отвечающей требованиям основных потребителей. Специалистами ГНЦ ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина» прорабатывается вопрос получения диоксида циркония для огнеупорных и керамических материалов со значительным снижением экологического ущерба по сравнению с традиционной схемой химической переработки цирконового концентрата за счет углетермического восстановления примесей из циркона.

Вольфрам

Вольфрам используется для твердых и жаропрочных материалов в качестве легирующей добавки в стали, кислотоупорных и специальных сплавах, в электротехнике, химической промышленности. Из сплавов вольфрама изготавливают танковую броню, детали для машино- и авиастроения, а также внешние оболочки для снарядов или торпед. Вольфрам — обязательная составляющая инструментальной стали. С ее помощью производят надежные инструменты для резки, обработки и вытачивания деталей и запчастей. Доля потребления вольфрама в черной металлургии России составляет 65 %.

Добычу вольфрамовых руд осуществляют АО «Приморский ГОК», ООО «Лермонтовский горно-обогатительный комбинат», АО «Закаменск», ЗАО «Новоорловский ГОК». Наблюдается отсутствие эффективной кооперации переработчиков вольфрамового сырья и производителей товарных продуктов на российском рынке. В результате чего объем экспортируемого концентрата почти в 1,5 раза превышает объем импортируемого. Это обусловлено разным географическим положением добытчиков сырья и его переработчиков. Ожидается, что в начале 2020-х гг. будут полностью отработаны запасы разрабатываемых месторождений Приморского края, основного вольфрамдобывающего региона России. Это может привести к не менее чем

двукратному падению производства вольфрамового концентрата в России. В связи с этим необходима разработка технологий переработки вольфрамовых руд других месторождений с получением ферровольфрама.

На рис. 2 представлен баланс производства и потребления вольфрамсодержащих материалов по данным работ [5, 14]. Объем производства ферровольфрама составляет 2414 т в год в пересчете на вольфрам. Производят ферровольфрам ООО «Унечский завод тугоплавких металлов», ООО «Кристалл», ООО «Гранком», ООО НПП «Тяжметпром», ООО «Рязанский завод ферросплавов и лигатур», ООО «Зубцовский машиностроительный завод», ООО «Молирен» и др. Значительная часть вольфрама в виде сырья и ферровольфрама идет на экспорт. Практически весь отечественный рынок металлорежущего инструмента занят зарубежными компаниями, в связи с чем потребление в металлургии вольфрама находится на низком уровне. Потребление вольфрама в виде ферровольфрама для производства жаропрочных и конструкционных сталей в России составляет всего 814 т. При этом, по нашей оценке, около 840 т вольфрама импортируется в Россию в виде инструментальной и быстрорежущей стали, металлорежущего инструмента и т.д. Сложилась модель отрасли, при которой экспортируются преимущественно сырьевые материалы, а импортируются продукты более глубокой переработки.

Необходимо развитие программы импортозамещения в станкостроительной отрасли, развитие производства жаропрочных и конструкционных сталей.

Из-за высокой стоимости большой объем вольфрамсодержащих отходов производства и некондиционного сырья подвергается вторичной переработке. Но существуют трудности, в частности, шлифовальные отходы сложно перерабатывать из-за больших потерь вольфрама в печи (до 30 %), а также в связи с экологическими проблемами при переработке масло-содержащих материалов. В настоящее время специалисты ГНЦ ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина» занимаются решением этих вопросов.

Молибден

До 70 % вырабатываемого молибдена используется в черной металлургии для легирования сталей и чугунов, которые применяются в авиационной и автомобильной промышленности для изготовления высоконагруженных деталей, работающих при высоких температурах. Молибден используют при изготовлении низколегированных конструкционных (до 0,5 % Мо), инструментальных (1,0...1,5 % Мо), нержавеющей хромоникелевых (2...4 % Мо) и быстрорежущих (7,5...8,5 % Мо, вместо вольфрама) сталей.

Добычу молибдена осуществляет только одно предприятие (Сорский ГОК). Ввиду практически монокомпонентного состава руд освоение месторождений непосредственно зависит от уровня мировых цен на молибден, которые в последние годы настолько низки, что были законсервированы не только проекты освоения новых месторождений, но и действующий Жирекенский ГОК и Жирекенский ферромolibденовый завод. В то же время российские предприятия по производству ферромolibдена, не

имеющие собственной сырьевой базы, испытывают дефицит сырья и вынуждены ежегодно импортировать 3,0–3,3 тыс. т молибденового концентрата.

На рис. 3 представлен баланс производства и потребления молибденсодержащих материалов. Объем производства ферромolibдена составляет 3156 т в год в пересчете на молибден. Производят ферромolibден ООО «Сорский ферромolibденовый завод», АО «Челябинский электрометаллургический комбинат», АО «Ключевский завод ферросплавов», ООО «Нижевожский ферросплавный завод», ООО «Гранком», ООО «Рязанский завод ферросплавов и лигатур», ООО «Зубцовский машиностроительный завод», ООО «Молирен», ЗАО НПО «Литейные заводы» и др.

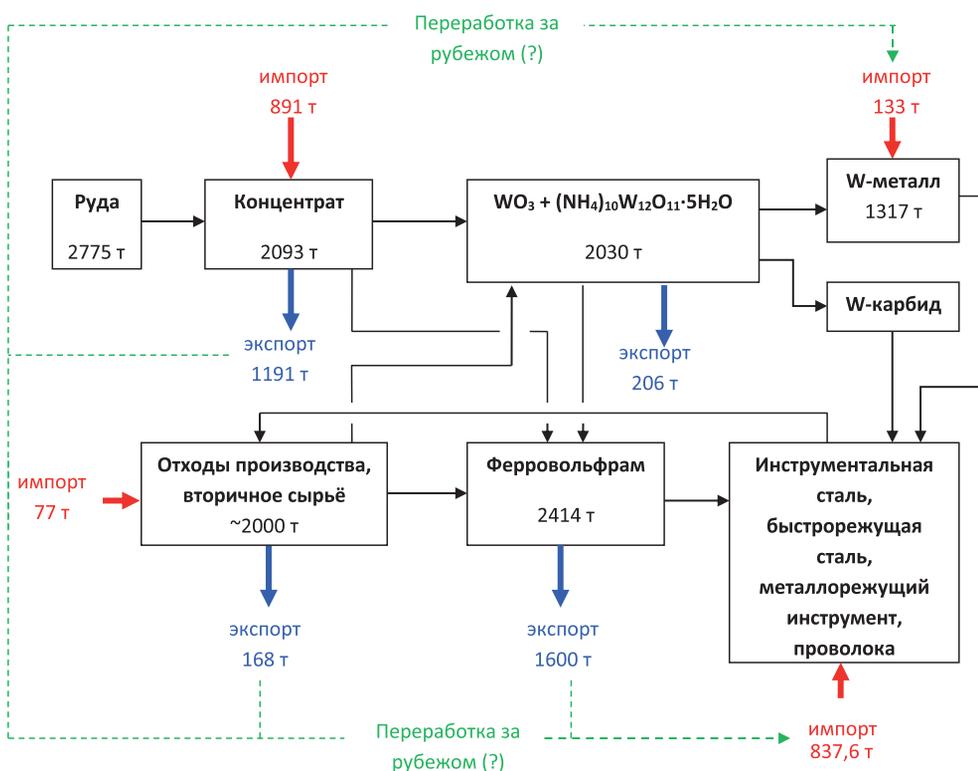


Рис. 2. Баланс производства и потребления вольфрама (в прямоугольниках указан объем производства, все цифры приведены в пересчете на чистый вольфрам)

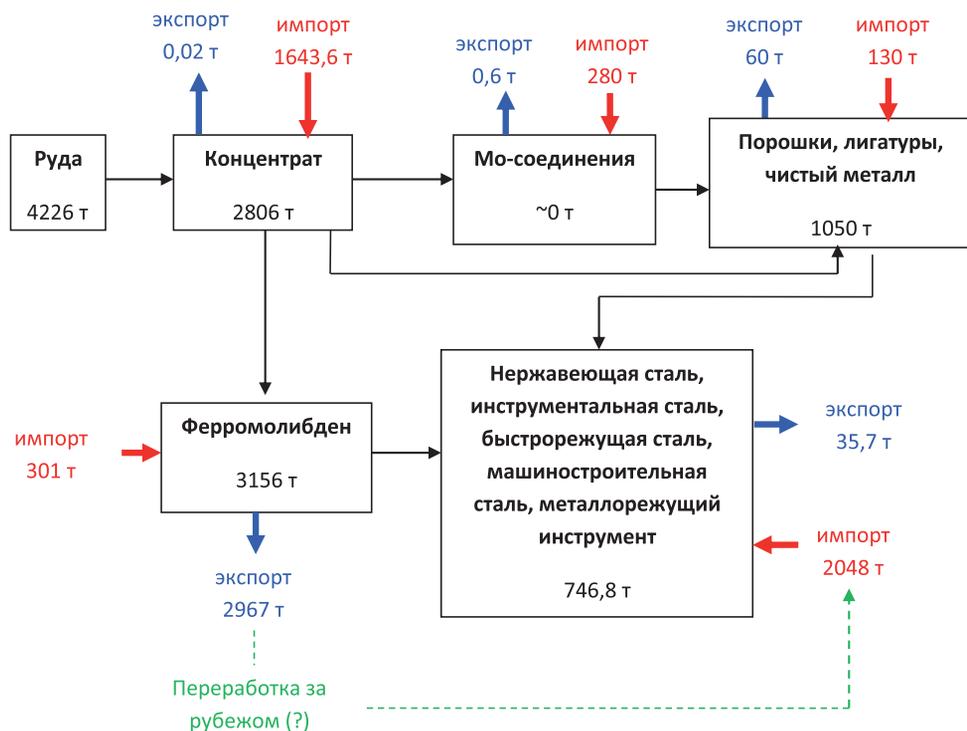


Рис. 3. Баланс производства и потребления молибдена (в прямоугольниках указан объем производства, все цифры приведены в пересчете на чистый молибден)

Практически весь производимый ферромolibден идет на экспорт (94 %). На внутреннем рынке реализуется менее 10 % ферромolibдена. Низкое потребление молибдена обусловлено тем, что практически весь рынок металлорежущего инструмента, коррозионноустойчивой и инструментальной стали занят зарубежными компаниями. В результате в настоящее время потребление молибдена для производства стали значительно снизилось с 38,7 до 10,6 г/т по сравнению с 1970-ми годами.

Сопоставимое с экспортом количество молибдена возвращается обратно в виде переработанной продукции (нержавеющая, инструментальная, быстрорежущая, машиностроительная сталь, инструмент). Также оксид, гидроксид молибдена и молибдаты поступают из-за рубежа. В черной металлургии сложилась такая модель потребления молибдена, при которой за рубеж отправляется ферромolibден, а из-за рубежа поступает переработанная продукция, получаемая с добавлением ферромolibдена.

Ванадий

Основным потребителем ванадия является черная металлургия, которая использует около 78 % всего производимого ванадия. Ванадиевые конструкционные стали широко используют в авто- и авиастроении, железнодорожном транспорте, машиностроении. Инструментальные стали содержат от 0,2 до 2,6 % ванадия. Присадка 1 % ванадия к быстрорежущим сталям повышает эффективность резания и сверления инструментами из этой стали примерно на 100 %. Ванадий используют также для легирования чугуна. В машиностроении применяют чугуны с присадкой 0,10–0,35 % V для изготовления паровых ци-

линдров, поршневых колец и золотников паровых машин, изложниц, прокатных валков, матриц для холодной штамповки.

Россия является одним из мировых лидеров по производству ванадия [12]. Единственным поставщиком ванадиевого сырья (руда, концентрат, окатыши и агломерат) является Качканарский ГОК, разрабатывающий Гусевское месторождение. Разведано и готовится к эксплуатации Собственно Качканарское месторождение. В небольших количествах осуществляется переработка отходов производства (отработанных катализаторов, некондиционного шлака, золы и т.д.).

В России сложилось монопольное положение компании ЕВРАЗ на добычу и переработку ванадиевого сырья (Качканарский ГОК, Нижнетагильский металлургический комбинат, ЕВРАЗ Ванадий Тула входят в его структуру). В 2016–2017 гг. выпуск ванадия в шлаке НТМК составил около 17 тыс. т в год. До 2014 г. на Чусовском металлургическом заводе (входит в группу ОМК) существовала полная цепочка производства феррованадия с получением агломерата, чугуна, ванадиевого шлака и пентаоксида ванадия. В настоящее время осталось три цеха — рессорный, автотранспортный и ферросплавный, работающий на ванадиевом шлаке производства НТМК.

На рис. 4 представлен баланс производства и потребления ванадийсодержащих материалов. Объем производства феррованадия составляет 3 726 т в год в пересчете на ванадий. Производят феррованадий в основном две компании: АО «ЕВРАЗ Ванадий Тула» и АО «Чусовской металлургический завод». Видимое потребление феррованадия в России составляет около 2 993 т в год в пересчете на ванадий. Избыток феррованадия, пентаоксида ванадия и шлака продают за рубеж. В настоящее время потребление ванадия для производства стали значительно снизилось с 94,3 до 40,4 г/т по сравнению с 1970-ми годами.

С продукцией более глубокого передела ванадий импортируется в Россию (900 т в виде очищенного пентаоксида, 503 т в виде стали, 47 т в виде инструмента и т.д.). Около 2000 т пентаоксида ванадия повышенного качества поставляется из-за рубежа для легирования титана. Для производства титановых сплавов в авиационной промышленности используется ванадий-алюминиевая лигатура, ее производство практически полностью базируется на импортном пентаоксиде

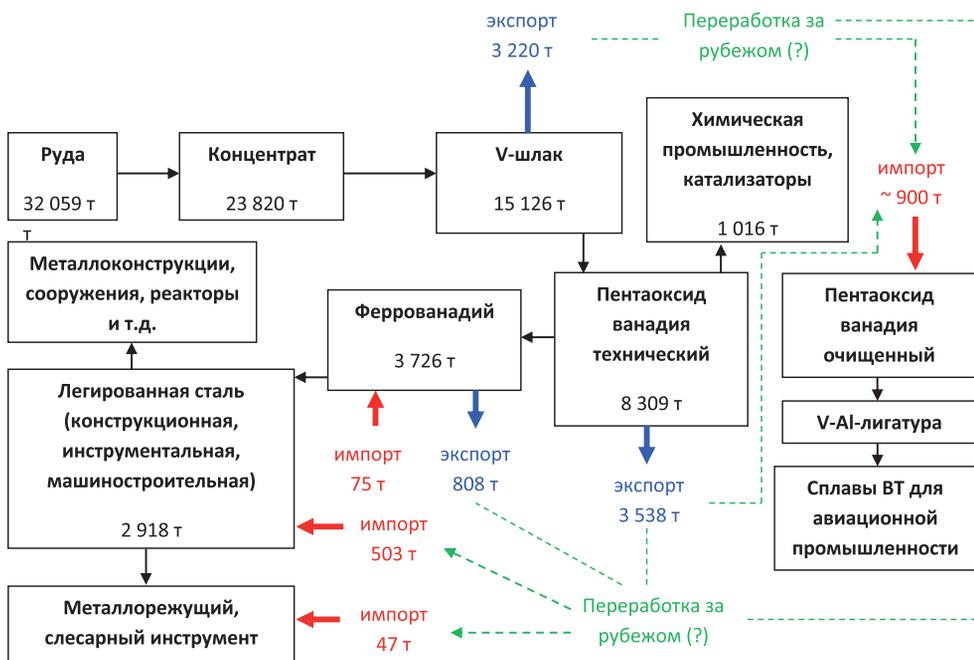


Рис. 4. Баланс производства и потребления ванадия (в прямоугольниках указан объем производства, все цифры приведены в пересчете на чистый ванадий)

ванадия. Во времена СССР на Чусовском металлургическом заводе и на заводах химических реактивов выпускали чистый пентаоксид ванадия. Для решения вопросов импортозамещения ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина» разрабатывает «Межотраслевую программу работ по освоению новых видов продукции металлургии с использованием редких и редкоземельных металлов на период 2020–2035 гг.». Еще одним направлением исследований является разработка технологий утилизации ванадийсодержащих отходов, некондиционного и нетрадиционного сырья [3, 8].

Титан

Титан в виде сплавов является важнейшим конструкционным материалом в авиа- и ракетостроении, в кораблестроении. Титан является легирующей добавкой для многих легированных сталей и для большинства спецсплавов.

Единственным действующим источником титанового сырья в России является Ловозерское месторождение, при переработке руды которого получают лопаритовый концентрат. Из этого концентрата на Соликамском магниевом заводе ежегодно получают около 2,2 тыс. т губчатого титана. В 2016 г. из-за неблагоприятной рыночной конъюнктуры и технологических трудностей законсервирован Олекминский рудник и ГОК, разрабатывавший Куранахское месторождение. В опытном режиме работает Туганский ГОК «Ильменит», опытные партии ильменитового концентрата прошли технологические испытания для производства губчатого титана ВСМПО-АВИСМА, рутиловый и лейкоксеновый концентраты применяют для получения сварочных электродов и проволоки. В России сложилась ситуация, при которой, обладая большими запасами титана, она закрывает значительную (97,4 %)

часть своих потребностей за счет импортного сырья (приобретают как ильменитовый концентрат, так и титановый шлак).

На рис. 5 представлен баланс производства и потребления титана в России. Объем производства ферротитана составляет 24,7 тыс. т в год в пересчете на титан. Производят ферротитан следующие компании: ПАО «Корпорация ВСМПО-АВИСМА», АО «Ключевский завод ферросплавов», ООО «Кристалл», ООО «Нова-Мет», ОАО «Волговытсвторцветмет», ЗАО «Объединенная металлургическая компания», ОАО «Завод точных сплавов», ОАО «Кулебакский металлургический завод», ОАО «ВТЭЛП», ООО «Зубцовский машиностроительный завод», ООО «Канта» и др. Производством губчатого титана занимаются ВСМПО-АВИСМА и Соликамский магниевый завод. 73,3 % производимого в России ферротитана и 62,5 % титановых слитков и проката поставляется за рубеж. По сравнению с 1970-ми годами потребление титана для производства стали значительно снизилось с 140,5 до 28,4 г/т в настоящее время.

Неизученным остается объем поставок титана в виде легированной стали, а также конечных изделий для перерабатывающей промышленности.

Наряду с этими вопросами ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П. Бардина» занимается вопросами, связанными с переработкой титаномагнетитовых руд [4], получением пигментного диоксида титана. Трудности отрасли связаны как с сырьевой зависимостью от импортных поставок, так и с экологическими и технологическими проблемами деятельности Крымского титана (ЗАО «Крымские инвестиции»).

РЗМ

В последние годы резко повышены требования по чистоте металла. Ограничения по содержанию серы достигли уровня ниже 0,001 %, азота 0,005 %, водорода 0,0002 %. Для некоторых классов сталей требуется обеспечить содержание углерода на уровне нескольких сотых долей процента и ниже при строгом ограничении содержания кислорода. Для глубокого раскисления применение традиционных раскислителей — алюминия и кальция, часто приводит к образованию трудноудаляемых оксидных и сульфидных включений, приводящих к браку и необходимости дополнительных технологических операций.

В России РЗМ добывается из руд Ловозерского месторождения и апатит-нефелиновых руд месторождения Олений ручей.

Ежегодно с неперерабатываемым сырьем в России теряется количество РЗМ, сопоставимое с половиной мировой добычи. Основная часть (95 %) производимой смеси карбонатов РЗМ экспортируется. Всего 5,6 % производимых РЗМ разделяют на соединения индивидуальных «легких» РЗМ, при этом соединения наиболее дорогих и дефицитных «тяжелых» РЗМ не производят. Импорт частично разделенных преимущественно «легких» РЗМ в виде оксидов составляет около 1000 т, а в виде металлов и сплавов — около 100 т в год. Потребление РЗМ для производства в России полуфабрикатов (компонентов электроники, катализаторов нефтепереработки, постоянных магнитов, стекла, оптических компонентов, полировальных порошков, огнеупорной керамики, лигатур) составляет около 1300 т в год. При этом в составе той же импортной продукции ежегодно ввозится около 2000 т РЗМ в год, что обусловлено значительной зависимостью России от импортных поставок электронных компонентов, катализаторов, постоянных магнитов и т.д. При мировых запасах РЗМ около 20 % Россия добывает и перерабатывает небольшое количество (1 %) РЗМ, что обусловлено доминированием на рынке высокотехнологической продукции (средства связи, бытовая техника, компьютеры и т.д.) иностранных компаний.

В настоящее время точных цифр по уровню потребления РЗМ в черной металлургии нет. По нашим оценкам он составляет от 75 до 100 т в год. Существуют трудности со сбытом металлургическим предприятиям даже небольших партий концентрата РЗМ, производимых в России. По сравнению с 1970-ми годами потребление РЗМ для производства стали значительно снизилось с 2,46 до 1,35 г/т.

Сотрудниками Института ферросплавов и техногенного сырья им. акад. Н.П. Лекишева, ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина разработан ряд марок и лигатур с РЗМ и технологий их производства. В лабораторном и полупромышленных масштабах получены лигатуры, содержащие как отдельные РЗМ, так и их смесь, содержащие до 40 % РЗМ: Sm, Nd, Pr, Gd, Y, La, Ce и др. Разработанная технология характеризуется существенной экономией сырья и энергетических ресурсов.

Важной проблемой остается разработка технологий и оборудования для ввода ферросплавов с РЗМ в сталь, обеспечивающих повышение степени усвоения РЗМ. Разрабатывались способы введения порошковых ферросплавов вдуванием в аргоне, введение их в сталь в защитной оболочке. Эти процессы существенно развивались вместе с технологией производства порошковой проволоки и трайб-аппаратов. Однако до настоящего времени продолжают работы по введению РЗМ в сталь в специальных контейнерах на металлической штанге [9].

Введение микродобавок скандия снижает содержание кислорода, азота, серы, фосфора и углерода в сталях 01X18T и 05X18H10T. Микродобавки скандия положительно влияют на состав, структуру и свойства сталей, т.к. скандий, являясь поверхностно-активным элементом по отношению к Fe-Cr-Ni-расплавам, оказывает на них комплексное воздействие — рафинирующее, модифицирующее и легирующее [11]. Добавки скандия способствуют замедлению роста зерна в сталях при нагреве, повышают их высокотемпературную пластичность и коррозионную стойкость, а также стойкость сталей ферритного класса против «475-градусной» хрупкости. В настоящее время в нашей стране промышленные сплавы на основе железа с добавками скандия не производятся. Главной проблемой остается отсутствие эффективных и экономичных методов его производства и введения в сплав. Для этих целей не может быть использован ни скандий металлический, ни лигатуры, полученные путем прессования чистых металлов, из-за их высокой стоимости. В связи с этим в ЦНИИЧермет им. И.П. Бардина прорабатывается вопрос получения скандийсодержащих лигатур на основе железа и никеля с достаточно низкой температурой плавления и растворения в жидкой стали.

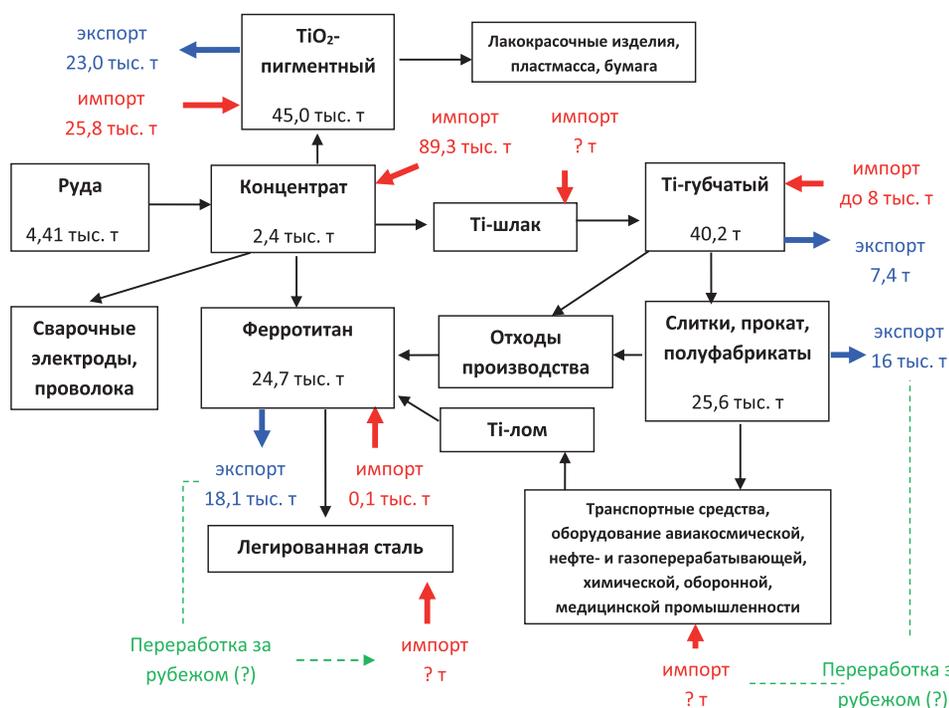


Рис. 5. Баланс производства и потребления титана (в прямоугольниках указан объем производства, все цифры приведены в пересчете на чистый титан)

Выводы

1. Практически для всех редких элементов, кроме ниобия, наблюдается значительное снижение их потребления для производства стали и сплавов по сравнению с временами СССР (от 2 до 10 раз). Основная проблема производства лигатур с редкими металлами в России связана с их низким потреблением в черной металлургии из-за недостаточного развития производства инструментальных, нержавеющих, быстрорежущих, конструкционных сталей. Практически весь рынок металлорежущего инструмента занят зарубежными компаниями, в связи с чем потребление молибдена и вольфрама низкое.

2. Значительно возросло потребление ниобия в виде феррониобия, что связано с развитием производства труб большого диаметра. При этом поставки феррониобия практически полностью обеспечиваются иностранными компаниями.

3. Производство титана, циркония, ниобия не обеспечивается отечественной минерально-сырьевой базой. Наблюдается отсутствие эффективной кооперации переработчиков молибденового и вольфрамового сырья и производителей товарных продуктов на российском рынке.

4. Значительная часть вольфрамового концентрата, ферромolibдена и ферровольфрама экспортируются, при этом большой объем продукции, содержащей молибден и вольфрам, поступает по импорту.

5. Россия является одним из мировых лидеров по производству ванадия, однако в настоящее время производство ванадий-алюминиевой лигатуры, используемой для производства титановых сплавов в авиационной промышленности, практически полностью базируется на импортном пентаоксиде ванадия.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект 18-29-24074-мк.

ЛИТЕРАТУРА

1. Боярко, Г.Ю. Товарные потоки ферросплавов в России / Г.Ю. Боярко, В.Ю. Хатьков // Черные металлы. — 2018. — № 3. — С. 60–69.
2. Быховский, Л.З. Об определении понятия «редкие элементы» («редкие металлы»): исторический и терминологический аспекты / Л.З. Быховский, Л.П. Тигунов, А.В. Темнов // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. — 2015. — № 3. — С. 32–38.
3. Волков, А.И. Влияние степени окисления и форм элементов в ванадиевом шлаке на технологичность его переработки / А.И. Волков, У.А. Кологриева, А.И. Ковалев, Д.Л. Вайнштейн // Металлург. — 2019. — № 8. — С. 42–46.
4. Волков, А.И. Выщелачивание продуктов обогащения титаномагнетитовых руд Медведевского месторождения / А.И. Волков, В.И. Короткова, А.И. Ушеров / Материалы 64-й научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ за 2004–2005 гг.: Сб. докл. — Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2006. — Т. 1. — С. 144–148.
5. Государственный доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов России в 2018 году. — М.: Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации, 2019 — 426 с.
6. Дейнеко, А. Развитие производства труб большого диаметра в России / А. Дейнеко / Производство, испытания и практическое использование труб большого диаметра категорий прочности Х80/Х90: Матер. междунар. конф. — М.: ЦНИИчермет им. И.П. Бардина, 2012 г.
7. ИТС 24-2017 Производство редких и редкоземельных металлов. М.: Бюро НТД. 2017 — 202 с.

8. Кологриева, У.А. Разработка технологической схемы утилизации отходов гидрометаллургического производства пентаоксида ванадия / У.А. Кологриева, А.И. Волков, А.С. Кириченко и др. // Металлург. — 2019. — № 4. — С. 78–82.
9. Корзун, В.К. Технично-экономическая оценка сырьевой базы редкоземельных металлов и технологии переработки руд и концентратов / В.К. Корзун, А.Н. Серегин, А.С. Кириченко // Цветная металлургия. — 2015. — № 4. — С. 21–28.
10. Левинский, Д.А. Государственному научному центру ЦНИИчермет им. И.П. Бардина исполнилось 75 лет / Д.А. Левинский // Проблемы черной металлургии и материаловедения. — 2019. — № 2. — С. 101–104.
11. Свистунова, Т.В. Влияние скандия на структуру и свойства коррозионно-стойких сталей / Т.В. Свистунова, О.С. Бобкова, Б.Д. Белясов // Металловедение и термическая обработка металлов. — 2008. — № 5 (635). — С. 9–14.
12. Серегин, А.Н. О проблеме развития рынка ванадийсодержащих сталей / А.Н. Серегин // Проблемы черной металлургии и материаловедения. — 2010. — № 2. — С. 92–100.
13. Стулов, П.Е. Разработка технологии выплавки феррониобия и ниобийсодержащих сплавов из концентратов руд Большетагнинского месторождения / П.Е. Стулов, А.Н. Серегин, В.С. Пикалова // Проблемы черной металлургии и материаловедения. — 2012. — № 4. — С. 5–11.
14. Хатьков, В.Ю. Современное состояние вольфрамовой промышленности России / В.Ю. Хатьков, Г.Ю. Боярко // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2019. — Т. 330. — № 2. — С. 124–137.

© Волков А.И., 2020

Волков Антон Иванович // rhenium@list.ru

УДК 553.493.6:553.04(470)

**Быховский Л.З., Пикалова В.С., Лихникевич Е.Г.
(ФГБУ «ВИМС»)**

АЛГОРИТМ ОСВОЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ РЕДКО-ЗЕМЕЛЬНОГО И СКАНДИЕВОГО СЫРЬЯ

*Россия занимает ведущее место в мире по запасам РЗМ и скандия, располагая различными источниками сырья, представленными природными и техногенными месторождениями, учтенными государственным балансом (20 месторождений РЗМ и 9 скандия); техногенными образованиями с неучтенными запасами (но значительными прогнозными ресурсами); а также существенными запасами монацитового концентрата в Госрезерве. Среди этих источников выделены реальные, потенциальные, перспективные и обоснованы предложения по последовательности их освоения. **Ключевые слова:** редкоземельные металлы, скандий, природные и техногенные источники, очередность освоения.*

Bykhovskiy L.Z., Pikalova V.S., Likhnikovich E.G. (VIMS)
THE SEQUENCE DEVELOPMENT OF RARE EARTHS
AND SCANDIUM RAW SOURCES

Russia occupies a leading position in terms of rare-earth metals and scandium reserves in the world. There are represented natural and anthropogenic deposits (20 deposits of rare-earth metals and 9 deposits of scandium consider in State Reserves