

— привлечение комплекса рудных и петрогенных элементов, отражающих проявление рудных и около-рудных метасоматических процессов, существенно повышает достоверность прогнозных оценок за счет суммирования «поисковых вкладов» указанных групп признаков;

— с поверхности рыхлого чехла выявляются наложенные ореолы рассеяния над полиметаллическими рудными телами, залегающими на глубине 200–250 м, а также перекрытые дальнепринесенными отложениями мощностью 100–110 м;

— экономические затраты при проведении традиционной (с эмиссионным спектральным анализом) и ионно-сорбционной (с ICP MS анализом) съемок сопоставимы за счет уменьшения количества отбираемых проб (без ущерба получения реальных геологических результатов), пробоотбора с минимальной глубины и стандартизированной технологии пробоподготовки;

— поисковые литохимические съемки ионно-сорбционным методом особенно результативны при повышенных мощностях рыхлых отложений, при которых рядовая литохимическая съемка часто оказывается малоэффективной.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьев, С.А. Информатика. Математическая обработка геолого-геохимических данных / С.А. Воробьев: Учеб. пособие. — Барнаул: Новый формат, 2016.
2. Горбунов, Н.И. Минералогия и физическая химия почв / Н.И. Горбунов. — М.: Наука, 1978.
3. Матвеев, А.А. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых / А.А. Матвеев, А.П. Соловов: Учебник. — М.: КДУ, 2011.
4. Овсянникова, Т.М. Геохимические методы поисков скрытых месторождений / Т.М. Овсянникова // Разведка и охрана недр. — 2017. — № 8. — С. 13–19.
5. Соловов, А.П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых / А.П. Соловов: Учебник для вузов. — М.: Недра, 1985.
6. Чекваидзе, В.Б. Метасоматическая вертикальная зональность березитов на золоторудных месторождениях / В.Б. Чекваидзе // Руды и металлы. — 2017. — № 3. — С. 62–67.

© Миляев С.А., Кряжев С.Г., Виленкина Ю.В., 2019

Миляев Сергей Анатольевич // milyaev@tsnigri.ru
Кряжев Сергей Гаврилович // skryazhev@tsnigri.ru
Виленкина Юлия Владимировна // vilenkina@tsnigri.ru

УДК 553.04

Левченко Е.Н.¹, Быховский Л.З.², Спиридонов И.Г.¹,
Ключарев Д.С.¹ (1 — ФГБУ «ИМГРЭ», 2 — ФГБУ «ВИМС»)

ОСОБЕННОСТИ УЧЕТА ЗАПАСОВ РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ

Рассмотрены основные особенности учета запасов редких металлов, распространенных наряду с собственными месторождениями в рудах месторождений других полезных ископаемых в качестве попутных компонентов. Подчеркнута необходимость учета редких металлов не только в руде, но и концентратах, отходах обогащения

*и продуктах переработки. Дан обзор нетрадиционных и техногенных источников редкометалльного сырья, показана их роль в формировании МСБ редких металлов России. Приведены основные характеристики источников редких металлов, показаны результаты экспериментальных исследований по извлечению редких металлов, оценены перспективы и возможности освоения. **Ключевые слова:** редкие металлы, геолого-промышленные типы, нетрадиционные источники, техногенное сырье, технологии переработки.*

Levchenko E.N.¹, Bykhovskiy L.Z.², Spiridonov I.G.¹, Klyucharev D.S.¹ (1 — IMGRE, 2 — VIMS)

FEATURES OF ACCOUNTING RARE METAL RESERVES

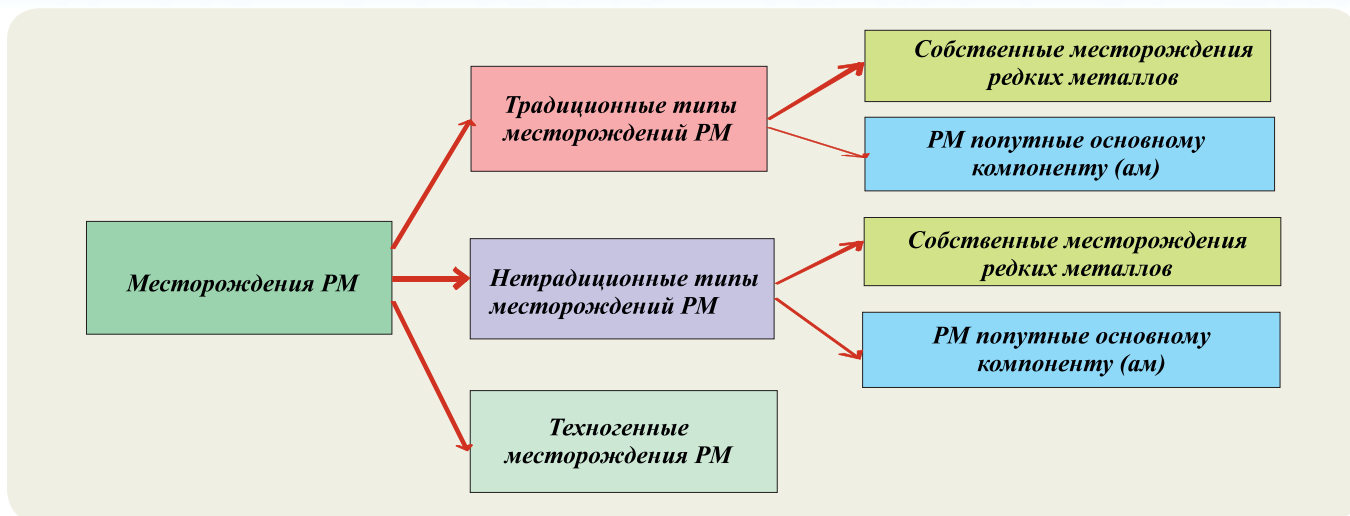
*The main features of accounting for the reserves of rare metals distributed, along with their own deposits, in the ores of other mineral deposits as associated components are considered. The necessity of taking into account rare metals not only in ore, but also concentrates, enrichment waste and processed products is emphasized. An overview of non-traditional and man-made sources of rare-metal raw materials, their role in the formation of SMEs of rare metals of Russia. The main characteristics of the sources of rare metals are given, the results of experimental studies on the extraction of rare metals are shown, the prospects and possibilities of development are estimated. **Keyword:** rare metals, geological and industrial types, unconventional sources, technogenic raw materials, processing technologies.*

Система учета минерально-сырьевых ресурсов России, в том числе редких металлов, включает Государственный баланс запасов полезных ископаемых РФ (ГБЗ), кадастр прогнозных ресурсов и государственный кадастр месторождений и рудопроявлений.

ГБЗ ведется с целью учета состояния МСБ и содержит сведения об объемах, качестве и степени изученности запасов каждого вида полезных ископаемых по месторождениям, имеющим промышленное значение, об их размещении, степени промышленного освоения, добыче, потерях руды и полезных компонентов на основе Классификации запасов и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых (ТПИ) [4]. Обеспечение постановки запасов полезных ископаемых на баланс и их списание с государственного баланса осуществляют Роснедра и его территориальные органы в соответствии с порядком, утвержденным Минприроды России.

Роснедра определяют формы государственной отчетности и перечень видов полезных ископаемых и полезных компонентов, сведения о состоянии и изменении запасов которых представляются в виде государственной отчетности и используются в ГБЗ.

Система ведения ГБЗ, определенная действующими нормативными правовыми актами, предусматривает соблюдение ряда важнейших требований и условий учета запасов полезных ископаемых, которые учитываются в ГБЗ по месторождениям полезных ископаемых, по рудным районам, по территориям субъектов



Структура учета запасов редких металлов

Российской Федерации, федеральных округов и Российской Федерации в целом [3].

Редкие металлы наряду с собственными месторождениями распространены в рудах месторождений других полезных ископаемых и техногенных источниках (табл. 1, рисунок).

В последние годы возрастает роль нетрадиционных источников редкометалльного сырья [8].

Высокая комплексность руд является общей особенностью многих собственных месторождений редких металлов. Учет запасов редких металлов собственно редкометалльных месторождений в целом соответствует принятым нормативно методическим рекомендациям и документам. В комплексных месторождениях оконтуривание рудных тел и соответственно бортовое содержание рекомендуется определять по условному компоненту (элементу или минералу). Однако нередко это проводится по одному из металлов, например, по танталу для Катугинского, Улуг-Танзенского и других комплексных редкометалльных месторождений. Это справедливо, если установлена четкая корреляция между Ta, Nb и TR.

В других случаях, например по Буранному участку Томторского месторождения, бортовое содержание определялось по сумме Nb_2O_5 при отсутствии корреляции между ниобием, редкими землями и скандием. Для участков Северный и Южный Томторского месторождения бортовые содержания ниобия, редкоземельных металлов и скандия приведены к условному Nb_2O_5 . На Чуктуконском месторождении бортовое содержание принято по сумме $Nb_2O_5 + TR_2O_3 + Sc_2O_3$.

Редкоземельные металлы учитываются Госбалансом как сумма лантаноидов и иттрия. Впервые запасы лантаноидов и иттрия отдельно были утверждены ГКЗ по Буранному участку Томторского месторождения. Следует также отметить, что запасы полезных компонентов этого месторождения были подсчитаны по сухой руде, однако Росгеолфонд пересчитал запасы руды в натуральном (влажном) виде, в результате чего запасы выросли в 1,25 раза, а содержания полезных

компонентов снизились (например, для TR_2O_3 с 10,125 % до 7,98 %). В связи с этим данные ГБЗ по содержанию полезных компонентов расходятся более, чем на 20 %, что находит свое отражение в многочисленных публикациях, где описывается Томтор.

Для Чуктуконского месторождения при постановке запасов на Госбаланс пересчет на влажную руду не был выполнен, что послужило основанием для ошибочных параллелей с Томторским месторождением в ряде публикаций, дающих близкие содержания TR_2O_3 для Томторского (7,98 %) и Чуктуконского (7,32 %) месторождений.

После утверждения в 2018 г. запасов по Томторскому (участки Буранный, Северный, Южный) и Чуктуконскому месторождениям «статус кво» по содержаниям TR_2O_3 восстановлен — в рудах Томторского месторождения содержание TR_2O_3 выше, чем в рудах Чуктукона в два раза: для участка Буранный содержание TR_2O_3 составляет 10,59 %, участков Северный и Южный — 9,29 %, Чуктуконского месторождения — 4,75 %.

Контур залежей полезного ископаемого и промышленная значимость месторождения, разделение его запасов на балансовые и забалансовые, выделение промышленных (технологических) типов и сортов руд обуславливается минимальными промышленными содержаниями полезных компонентов. При наличии в рудах нескольких основных компонентов для расчета параметров кондиций обычно применяют коэффициенты для приведения содержания каждого компонента к условному содержанию одного из них. Но на практике расчет кондиций иногда производится по одному основному компоненту. Так, оконтуривание рудных тел и разделение запасов на балансовые и забалансовые на некоторых комплексных редкометалльных месторождениях (Катугинском, Улуг-Танзекском и др.) производилось по бортовому содержанию Ta_2O_5 , хотя в стоимости товарной продукции доля тантала составляет около 35 %, а примерно две трети стоимости приходится на ниобий и редкие земли, которые

также относятся к основным компонентам, потому что без их реализации обработка месторождений не будет рентабельной. Основанием для использования расчета кондиций только по содержанию Ta_2O_5 послужили либо ведущая роль месторождения данного типа в отечественной МСБ, либо прямая корреляция содержания всех трех элементов в танталовых рудах.

Сходная ситуация имела место и на Томторском скандий-редкоземельно-ниобиевом месторождении, где при оконтуривании рудных тел учитывалось бортовое содержание Nb_2O_5 , составляющее лишь около 35 % стоимости товарной продукции.

Учет запасов редких металлов в месторождениях, где они являются попутными компонентами, регулируется

«Методическими рекомендациями по комплексному изучению месторождений и подсчету запасов попутных полезных ископаемых и компонентов» [12]. К сожалению, эти рекомендации, отвечающие современным требованиям, не являются обязательными и поэтому часто не выполняются при проведении ГРП.

Практически все редкие, в том числе и редкоземельные стратегические металлы в настоящее время не обеспечены собственной добычей сырья. По ряду металлов, например, редкоземельным металлам иттриевой группы, литию, цирконию и рению Россия полностью зависит от импорта — и по сырью, и по готовой продукции [14]. По этим металлам не удовлетворяются текущие и перспективные потребности промышленности (табл. 2).

Несмотря на то что по этим металлам формальная обеспеченность запасами составляет 50 и более лет обеспеченность активными экономически выгодными для освоения запасами крайне низка. При этом значительными запасами с промышленными содержаниями рения характеризуются Ак-Сугское и Михеевское месторождения, высокие содержания лития характерны для Колмозерского месторождения, но в настоящее время даже если месторождение обрабатывается (Михеевское), металлы не извлекаются.

Сложившаяся ситуация обуславливает высокий уровень зависимости внутреннего потребления от импортных поставок [1, 8]. По ряду металлов практически отсутствуют объекты, подготовленные для быстрого освоения.

Вместе с тем, попутное извлечение ряда металлов на уже действующих месторождениях (трубка Удачная, месторождения Хибинской группы, Аллуйв, Михеевское и др.) позволило бы в ближайшем будущем существенно сократить зависимость от внешних источников металлов и их соединений.

Моделирование ситуации показывает, что по редкоземельным металлам иттрие-

Таблица 1

Основные геолого-промышленные типы месторождений с попутными редкими металлами

Тип	Основные компоненты	Попутные РМ и РЗМ	Диапазон содержаний	Примеры
<i>Черные металлы</i>				
Комплексные карбонатитовые апатит-магнетитовые месторождения	Железо	Zr	0,17 % ZrO_2 в руде, 0,33 % — в хвостах	Ковдорское
Титано-магнетитовые	Железо	V	0,12–0,14 % V_2O_5 в руде, 0,54 % — в концентрате	Качканарское, Гусевогорское
<i>Цветные металлы</i>				
Медно-порфировые	Медь, молибден	Re	0,04–0,16 г/т Re в руде, 38–450 г/т — в концентрате	Сорское, Михеевское, Аксугское
Медно-цинково-колчеданный	Медь	In, Sc, Te		Сибайское, Гайское
Циркон-рутил-ильменитовые прибрежно-морские россыпи	Цирконий, титан	РЗМ, Sc	0,6–3 % TR_2O_3 , Sc — 70–130 г/т в концентратах	Туганское, Ордынское, Бешпагирское, Тарское, Центральное и др.
Бокситы с галлием, скандием и редкими землями, ванадием	Алюминий	Sc, РЗМ, V	33–1007 г/т TR_2O_3 , 0,02–0,1 % V_2O_5 , Sc — 72 г/т	Бокситы Тимана (Ворыквинское)
<i>Благородные металлы</i>				
Золотоносные россыпи с куларитом	РЗМ	Au	1,4–5,5 кг/м ³	Центральная-Нижняя
<i>Неметаллическое сырье</i>				
Глубокозалегающие хлоридные рассолы	Соединения калия, брома	Li	320–500 г/л (среднее 282 г/л)	Знаменское, Иркутский амфитеатр
Германий-угольные месторождения	Энергия	Ge	50–600 г/т	Павловское
Апатит-нефелиновые руды	Фосфатные удобрения	РЗМ, Sr	0,37 % TR_2O_3 , 1 % SrO в апатитовом концентрате	Хибинская группа месторождений
<i>Техногенные источники</i>				
«Красные шламы»		РЗМ	до 300 г/т, Y_2O_3 , Sc — 50–90 г/т	
Отвалы фосфогипсов		РЗМ	0,4–1,0 % TR_2O_3	
Отвалы руд флюоритовых месторождений	Флюорит, полевой шпат	Li, Rb, Cs	0,16–0,45 % Li ₂ O, 0,06–0,21 % BeO, 0,1–0,25 % Rb ₂ O, 82,5–223 г/т Cs_2O_3	Вознесенское, Пограничное

Таблица 2
Обеспеченность России дефицитными редкими металлами

Металл	Обеспеченность России по текущему уровню производства		Обеспеченность потребностей собственной товарной продукцией и сырьем	Проблемы освоения МСБ и возможные пути решения
	Общие запасы	Активные запасы		
Рений	Более 50 лет	0	Импорт сырья 100 % и товарной продукции	Необходим ввод в разработку Аксугского м-ния, организация извлечения Re на Михеевском м-нии, организация опытно-промышленных работ на Брикетно-Желтухинском м-нии
Литий	Более 100 лет	0	Импорт концентратов 100 %. Экспорт товарной продукции (металл, гидроксид)	Необходима геолого-экономическая переоценка пегматитовых месторождений (в первую очередь Колмозерского), оценка объектов гидроминерального сырья
Германий	Более 100 лет	Менее 30 лет (Павловское месторождение, участок «Спецугли»)	Экспорт товарной продукции (80 %)	Лицензированные объекты до настоящего времени не освоены
Цирконий	Более 100 лет	Ковдорский ГОК — бадделеитовый концентрат, Туганское месторождение.	Экспорт бадделеитового концентрата — 95 %, импорт цирконового концентрата — 95 %	Лицензированные объекты до настоящего времени не освоены
Сурьма	40 лет	20 лет, месторождения Сарылах и Сентачан — 6 тыс. т сурьмы в концентрате. Производства из собственного сырья нет	Экспорт сурьмяного концентрата — 100 %, импорт товарной продукции — 100 %	Нет поискового задела. Истощение активных запасов к 2030 г.

вой группы, литию, цирконию и рению возможный рост потребления этих металлов в России на ближнюю перспективу может компенсироваться внутренним производством сырья на уже известных месторождениях (табл. 3) [10]. Оценка на более длительный временной интервал показывает падение добычи. Известные месторождения не могут обеспечить дальнюю перспективную потребность промышленности, поэтому необходимо вводить в эксплуатацию новые объекты.

Основная проблема минерально-сырьевой базы редких металлов в России — низкая конкурентоспособность месторождений, определяющая, наряду с низким потреблением редких металлов, слабое использование минерально-сырьевого потенциала.

И хотя по сравнению с зарубежными разрабатываемыми объектами аналогичные типы руд отечественных месторождений сопоставимы по основным параметрам, и часто имеют более высокие содержания полезных компонентов, сложные географо-экономические условия нахождения многих комплексных месторождений и горнотехнические условия их эксплуатации требуют значительных инвестиций в строительство объектов инфраструктуры, и в первую очередь — транспортной и энергетической. По этим и многим другим более частным причинам комплексные редкометалльные месторождения России имеют низкую конкурентоспособность, особенно в сравнении с зарубежной минерально-сырьевой базой, где основными промышленными типами являются, прежде всего, богатые и монометалльные руды.

Крупные редкометалльные месторождения России расположены в неосвоенных районах Якутии, Забайкалья, Иркутской области и Кольского п-ова. Боль-

шинство лучших объектов, имеющих промышленную значимость, лицензированы, но не осваиваются из-за относительно низкой рентабельности добычи и/или переработки. Обычно при разработке этих месторождений извлекаются основные (не более двух-трех) полезные компоненты, а при утверждении запасов месторождения и постановке его на Государственный баланс учитываются и утверждаются до 8–10 (обычно по среднему содержанию в отдельных пробах). Часть редких металлов извлекается попутно, а для остальных существуют эффективные технологии переработки. Поэтому для редких металлов глубокая и комплексная переработка руд может не только обеспечить получение добавленной стоимости извлекаемых компонентов, но и превратить убыточные по технико-экономической оценке объекты, в экономически эффективные.

Начиная с 1990-х годов многие попутные редкометалльные компоненты с балансовыми запасами не

Таблица 3
Ожидаемый баланс потребности и добычи (производства) РМ в рамках Стратегии развития МСБ РФ

Металлы	Текущая и прогнозируемая потребность (Степень обеспечения потребности добычей)		
	2018	2032	2062
РЗМ, тыс. т TR ₂ O ₃	2,5 (100 %)	20 (100 %)	100 (64 %)
Литий, тыс. т	1 (0 %)	10 (100 %)	80 (25 %)
Цирконий, тыс. т концентрата	14,5 (0 %)	75 (100 %)	250 (85 %)
Рений, т	2,5 (0 %)	25 (20 %)	35 (0 %)
Германий, т	7,5 (100 %)	20 (100 %)	60 (83 %)

учитываются в лицензиях, и даже в случае, когда они учтены, списываются с балансов предприятия.

В настоящее время на территории Российской Федерации непосредственно на редкие металлы действуют лицензии по 16 месторождениям.

В рамках этих лицензий за счет средств недропользователей:

— **подготавливались к освоению 8 месторождений:** цирконий — Центральное (сев. часть Восточного участка), Буткинская площадь, Туганское месторождение (Южно-Александровский и Кусково-Ширяевский участки); тантал и ниобий, редкоземельные металлы — Зашихинское, Томторское (участок Буранный); бериллий — Ермаковское, Красноармейское, тантал — Орловское;

— **разведываются 3 месторождения:** цирконий — Самсоновское (Омская обл.), Стеглянка (Тюменская обл.); рений — вулкан Кудрявый;

— **разрабатываются 4 месторождения:** тантал и ниобий, редкоземельные металлы — Ловозерское (уч. Карнасурт и Кедыквырпахк); цирконий (попутно) — Ковдорское; германий — Павловское (уч. Спецугли), уран, скандий (попутно) — Долматовское.

На территории России по состоянию на 2016 г. действовало 125 лицензий на объекты, в которых редкие металлы учитываются в качестве попутных компонентов. В недропользовании находились объекты 27 геолого-промышленных типов (Cu, Zn, Pb, Ni), из которых большинство приходится на объекты медноколчеданного типа, 17 — сульфидных медно-никелевых; 11 — полиметаллических. На апатитовых объектах в настоящее время действуют 9 лицензий, на бокситовых — 3. Из общего числа действующих лицензий добычных — 78, на разведку и добычу — 31.

Учет редких металлов в продуктах обогащения руд ведется далеко не всеми недропользователями. По большинству рассеянных редких металлов в ГБЗ нет информации о содержании компонентов в рудных концентратах (свинцовом, цинковом, медном и т.д.). Оценить извлечение редких металлов в конечную продукцию и потери при металлургическом переделе возможно лишь косвенно по объему выпускаемой предприятиями продукции. По большинству действующих лицензий (83) данных об извлечении редких и редкоземельных металлов нет; по 11 лицензиям редкие и редкоземельные металлы не извлекаются. Извлечение редких металлов осуществляется из руд 24 объектов. Преимущественно до металла доводятся индий, кадмий, селен, теллур. Извлечение осуществляется из руд сульфидного медно-никелевого и медно-колчеданного геолого-промышленных типов.

Оценка редких металлов в техногенных образованиях ведется крайне редко, только в лицензионном соглашении ООО «Ярославская ГРК» ВЛВ 14557 ТЭ установлено, что недропользователь обязуется обеспечить учет, отдельное складирование и надлежащее хранение бедных редкометалльно-флюоритовых и цинковых руд, хвостов обогащения, содержащих редкие металлы (цезий, рубидий, индий, кадмий). В ли-

цензионных соглашениях по другим месторождениям распределенного фонда недр, в которых учтены запасы рассеянных редких металлов в качестве попутных компонентов, редкие металлы, как правило, даже не упоминаются.

В качестве примеров, характеризующих особенности учета запасов редкометалльных месторождений, хотелось бы остановиться на объектах, работы на которых выполнялись специалистами ИМГРЭ или с их участием в последние годы.

Перспективным источником рения могут стать пластово-инфильтрационные месторождения. Брикетно-Желтухинское пластово-инфильтрационное месторождение характеризуется практически полным отсутствием соединений урана при преобладании рения и является **фактически новым промышленным типом рениевых месторождений**. Рений образует тела в подошвенной части сероцветной толщи палеодолин. Размах оруденения, оконтуренного по среднему содержанию Re > 0,5 г/т достигает 30 м. Выявленный новый гидроминеральный сырьевой источник — Re-полиметаллические песчаники — позволяет извлекать из него Re методом ПВ с применением растворов, обогащенных перекисью водорода (H₂O₂) [5, 9, 14]. По результатам разведочных работ были оценены и поставлены на Государственный баланс запасы рения по кат. С₂. Месторождение имеет перспективы прироста запасов.

Новое направление использования исходных целестин-содержащих известняков Верхнеустьевского месторождения в качестве флюсовых добавок в металлургии позволит заменить дорогостоящие легирующие добавки (Nb, V, Mo, Mn). При замене обычного известняка целестиновым в агломерационном производстве ОАО «НЛМК» повышается производительность, прочность агломерата, улучшаются его высокотемпературные свойства, повышается десульфурующая способность доменного шлака. Возможный объем использования — 1,5 млн т [13]. Использование стронций-содержащей извести в шихте окатышей на Стойленском ГОКе повышает их прочность, улучшает фильтруемость шлака через коксовую насадку. Возможный объем использования — 276 тыс. т.

Золотоносные россыпи Куларского рудного района расположены в Якутии практически на побережье Северного Ледовитого океана. В пределах рудного района развиты золотоносные россыпи с куларитом (низкотермическим РЗМ монацитом). Россыпи приурочены к водотокам, размывающим сланцевые толщи, содержащие золото и куларит, содержание которого в сланцах достигает первых кг/т. Россыпи Центральная-Нижняя и Центральная-Верхняя в настоящее время отработаны и куларит с тонкодисперсным золотом сконцентрирован в хвостах промывки. Куларит в россыпях встречается в виде сростков и самостоятельных индивидов различной степени окатанности. Содержание оксидов TR₂O₃ в куларите превышает для лантана, церия и неодима 30 %. Среднее содержание TR₂O₃ составляет 5,3 кг/т, в отдельных пробах достигая 20 кг/т.

Глубокозалегающие поликомпонентные рассолы — один из новых видов гидроминерального сырья, содержащий ряд остродефицитных элементов, включая Li, I, Br, Mg и др. В настоящее время на территории России рассолы разрабатываются (Знаменское) преимущественно на противогололедные реагенты без извлечения лития, содержание которого в рассолах достигает 400 г/л.

Прогнозные ресурсы лития на приведенной для примера Балаганкинской площади составляют более 20 тыс. т лития, распределяясь в пропорции 2 к 3 между породами подсолевого карбонатного комплекса и терригенной частью мотской свиты.

Необычным для России типом месторождений германия являются германиеносные лигниты [7]. Буровыми работами в бассейне нижнего течения р. Кас в меловых отложениях выявлен перспективный участок площадью 563 км² с прогнозными ресурсами германия, составляющими более 2 тыс. т при содержании германия 100–280 г/т сухого лигнита или 560–3600 г/т золы. Поставленные на учет Государственным балансом запасы германия в лигнитах составили 14 т по кат. С₂+С₁.

По рудопроявлению вулкана Кудрявый решением ЦКЗ МПР России (протокол от 08.07.2002 г, б/н) утверждены динамические запасы рения кат. С₂ в количестве 36,7 т/год. Существуют противоречивые мнения о содержании рения в вулканических газах вулкана Кудрявый. Правомерной представляется оценка содержания рения в газах, выполненная методом ИСР MS в 2007 г., показавшая существенно низкие содержания рения в газовой фазе. Характерной особенностью локализации рениевого оруденения на фумарольных полях вулкана Кудрявый является наличие довольно широкого диапазона температур, с которыми связаны повышенные концентрации рения. Кроме рения в вулканических газах присутствуют индий, германий и другие металлы. С учетом наличия этих полезных компонентов в вулканических газах вулкана Кудрявый объект должен оцениваться как комплексный по индию, германию, рению. В настоящее время на вулкане Кудрявый ведутся опытно-промышленные работы по улавливанию и первичной переработке вулканических газов (ООО «ГЕОТЭП»).

В металлоносных сублиматах активных вулканов (вулкан Кудрявый) среднее содержание рения составляет 0,9–44 г/т. Пиковые содержания рения достигают 300 г/т и выше. В авторской оценке ФГБУ «ИМГРЭ» прогнозные ресурсы рения в металлоносных сублиматах составили около 2 т по кат. Р₂ [13].

Комплексное использование исходного минерального сырья позволит повысить экономическую эффективность освоения месторождения, его инвестиционную привлекательность и востребованность. В комплексном использовании сырья редкометалльных месторождений есть и другая сторона вопроса, не касающаяся самих редких металлов, хотя и имеющая для них первостепенную важность. В россыпях, пегматитовых и некоторых карбонатитовых месторождениях возможно получение попутной нерудной товарной продукции, за счет чего технико-экономические пока-

затели освоения месторождений могли бы существенно увеличиться. Проблема комплексного использования сырья имеет особую остроту для редких металлов попутного производства.

Главные критерии, определяющие целесообразность комплексного использования сырья, как и глубины его переработки — это востребованность продукции глубокой и комплексной переработки руд и уровень доходности от использования недр.

В комплексном использовании сырья редкометалльных месторождений есть и другая сторона вопроса, не касающаяся самих редких металлов, хотя и имеющая для них первостепенную важность. В россыпях, пегматитовых и некоторых карбонатитовых месторождениях возможно получение попутной нерудной товарной продукции, за счет чего технико-экономические показатели освоения месторождений могли бы существенно увеличиться.

Примером комплексного использования могут служить циркон-рутил-ильменитовые прибрежно-морские россыпи такие, как: Центральное, Бешпагирское, Туганское месторождения, содержащие рудные минералы — ильменит, рутил и циркон. Помимо основных компонентов для этих россыпей учтены и попутные компоненты, доля которых достигает 50 %. Так, для Бешпагирского месторождения при комплексном освоении весомый вклад вносит кварц-полевошпатовый продукт. Для месторождения Центральное — 30 % от получаемых продуктов приходится на долю «попутного» глауконитового концентрата [6].

Таким образом, к основным особенностям учета запасов следует отнести то, что редкие металлы учтены (помимо руд собственных месторождений) в рудах различных полезных ископаемых (золотых, железных, титановых, медных, цинковых, свинцовых, флюоритовых, апатитовых, угольных и т.д.).

Редкие металлы часто присутствуют в рудах других полезных ископаемых фактически в качестве как собственно рассеянных элементов (ванадий, галлий, германий, индий, гафний, рубидий, цезий, рений, селен, скандий, теллур, таллий, кадмий), так и в рассеянном состоянии (РЗМ и стронций в апатитовых рудах, ниобий и тантал в титановых (сфене), литий, рубидий, цезий в флюоритовых рудах и т.п.).

Соответственно в балансах редких металлов и рассеянных элементов необходимо учитывать не только содержание этих элементов в исходных рудах, но и в промежуточных и конечных продуктах, а также отходах их переработки.

С 1971 г. Государственный баланс полезных ископаемых, в том числе и в части редких металлов оставался неприкосновенным. В текущей экономической ситуации сложилась необходимость геолого-экономической переоценки месторождений ГФЗ в первую очередь редких металлов и, особенно, рассеянных с целью выделения из МСБ реальной «рудной базы», и освобождения от утративших промышленную значимость месторождений. Эта непопулярная мера может дать «зеленый свет» к освоению реальных объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Быховский, Л.З. Рудная база стратегических редких металлов России: состояние, перспективы освоения и развития / Л.З. Быховский, Н.А. Архипова // Горный журнал. — 2017. — № 7 — С. 4–10.
2. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2016 и 2017 годах». — М., 2018. — С.: 215–233; 273–288.
3. Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. — М.: МПР Российской Федерации, 2006 г.
4. Кременецкий, А.А. Состояние, проблемы и пути развития МСБ редких металлов / А.А. Кременецкий, Т.Ю. Усова, Е.Н. Левченко // Руды и металлы. — 2009. — № 1. — С. 38–44.
5. Левченко, Е.Н. Повышение эффективности освоения редкометалльных месторождений за счет глубины переработки и комплексности использования минерального сырья / Е.Н. Левченко, Е.А. Калиш // Разведка и охрана недр. — 2012. — № 9. — С. 89–94.
6. Левченко, Е.Н. Технологическая оценка возможности переработки нетрадиционного редкометаллического сырья / Е.Н. Левченко, Д.С. Ключарев // Разведка и охрана недр. — 2014. — № 9. — С. 41–45.
7. Методические рекомендации по комплексному изучению месторождений и подсчету запасов попутных полезных ископаемых. — М.: ФБУ ГКЗ «Роснедра», 2007.
8. Нетрадиционные источники получения титана и редких металлов. Геология, методы поисков, разведки и оценки МПИ. Обзорная информация / Л.З. Быховский и др. — М.: ООО «Геоинформцентр», 2003. — 98 с.
9. Основные задачи геохимического картирования и поиски новых источников нетрадиционного редкометаллического сырья / И.Г. Спиридонов, В.А. Килипко, Е.Н. Левченко, Д.С. Ключарев // Разведка и охрана недр. — 2016. — № 9. — С. 115–122.
10. Оценка возможности разработки комплексного уран-молибден-рубиниевого месторождения способом подземного выщелачивания / Ю.В. Культин и др. // Горный журнал. — 2007. — № 6. — С. 47–51.
11. Перспективы обеспечения потребностей высокотехнологичных производств России редкометаллическим минеральным сырьем / Л.З. Быховский и др. // Разведка и охрана недр. — 2016. — № 9. — С. 106–115.
12. Подземное выщелачивание полиэлементных руд / Н.П. Лавёров и др. под ред. Н.П. Лавёрова. — М.: Академия горных наук, 1998. — 446 с.
13. Рений в нетрадиционном сырье: распределение и возможности извлечения / И.Д. Трошкина и др. // Разведка и охрана недр. — 2011. — № 6. — С. 87–90.
14. Klyucharev, D.S. The problems associated with using non-conventional rare-earth minerals / D.S. Klyucharev, N.M. Volkova, M.F. Komyn // Journal of Geochemical Exploration Volume 133, October 2013. — PP. 138–148.

© Коллектив авторов, 2019

Левченко Елена Николаевна // levchenko@imgre.ru
Быховский Лев Залманович // lev@vims-geo.ru
Спиридонов Игорь Геннадьевич // imgre@imgre.ru
Ключарев Дмитрий Сергеевич // sacsaul@gmail.com

УДК: 553.068.56

**Лаломов А.В.^{1,2}, Григорьева А.В.¹, Бочнева А.А.¹,
Магазина Л.О.¹, Чефранов Р.М.¹ (1 — ИГЕМ РАН,
2 — Пермский государственный национальный
исследовательский университет)**

РЕДКОМЕТАЛЛЬНЫЕ РОССЫПИ ЛОВОЗЕРСКОГО МАССИВА

*Редкие металлы (в число которых входят и редкоземельные) являются важным сырьем, определяющим научно-технический уровень развития промышленности, и в первую очередь ее инновационных технологий. Важным источником редких металлов может служить группа уникальных по генезису и минеральному составу лопаритовых россыпей, связанных с Ловозерским массивом нефелиновых сиенитов. **Ключевые слова:** редкие металлы, россыпи, Ловозерский массив.*

Lalomov A.V.^{1,2}, Grigoreva A.V.¹, Bochneva A.A.¹, Magazina L.O.¹,
Chefranov R.M.¹ (1 — IGEM RAS, 2 — Perm State National
Research University)

RARE METAL PLACER DEPOSITS OF LOVOZERO MASSIF

*Rare metals (including rare earth metals) are significant raw materials which determine technical and scientific level of development of the industry; first of all — innovative technologies. An important source of rare metals can be a group of unique in genesis and mineral composition of loparite placers associated with the Lovozero massif of nepheline syenites. **Keywords:** rare metals, placers, Lovozero massif.*

Редкие металлы (РМ) находят широкое применение в современных высокотехнологичных отраслях промышленности — электронике, оптике, энергетике, производстве высоколегированных сплавов и т.д. Область их применения постоянно расширяется. Перспективный прогнозируемый мировой рост потребления РМ составляет около 10 % в год. В настоящее время единственным действующим источником редкоземельных металлов (и значительной части РМ) в России является Ловозерский ГОК, но добыча ведется в сложных горно-геологических условиях при низкой рентабельности существующих разрезов, причем по мере выработки доступных ресурсов сложность горных работ и себестоимость продукции увеличивается. В этой связи возникает насущная потребность в диверсификации сырьевых источников комбината: разработка новых технологических схем переработки традиционных руд, вовлечение в переработку новых видов сырья (эвдиалитового и апатит-лопаритового), переход к добыче руд открытым карьером.

Одним из возможных источников производства продукции комбината могут служить уникальные по своему составу и генезису россыпи лопарита, расположенные по периферии Ловозерского массива. Наиболее перспективным является Ревдинское россыпное месторождение (Шомиокский, Ревдинский и Сергеевский участки), приуроченное к северным предгорьям массива. Оно в первую очередь и является предметом настоящего исследования.

Геологическое строение и рудоносность Ловозерского массива

Ловозерский массив относится к позднедевонскому комплексу щелочных и нефелиновых сиенитов. Вмещающими являются докембрийские гранито-гнейсы. По данным геофизических исследований массив имеет крутое падение, причем щелочные породы прослеживаются на глубину более 7 км [8].

Основными фазами в составе массива являются дифференцированный комплекс лопаритоносных лувритов-фойялитов-уртитов и комплекс эвдиалитовых лувритов, слагающих верхнюю часть массива. Слои (горизонты) нефелиновых сиенитов залегают согласно, почти горизонтально, падение их к центру массива под углами не более 10–15°. Лопаритовое оруденение приурочено к верхней и нижней зонам дифференцированного комплекса. В верхней зоне