

ры; в Явленском рудном районе — одноименная вулканотектоническая депрессия.

Ангаро-Большепитская металлогеническая зона (Красноярский край). В пределах зоны создана крупная минерально-сырьевая база цветной металлургии. Разведаны и защищены в ГКЗ СССР запасы Горевского цинково-свинцового месторождения. Запасы кат. А+В+С₁ составляют: свинца — 4906,4 тыс. т; цинка — 935 тыс. т; серебра — 3861,2 т. Добыча в 2014 г. составила: свинца — 177 тыс. т; цинка — 33,1 тыс. т; серебра — 139 т. Несмотря на довольно высокую обеспеченность рудника экологические и горно-добычные проблемы, связанные с расположением большей части месторождения под рекой Ангарой, могут значительно затруднить его дальнейшее освоение. Прогнозно-металлогенические исследования последних лет позволили обосновать перспективы новых крупных месторождений свинца и цинка в пределах Ангарского рудного района. Здесь по ряду площадей оценены и апробированы прогнозные ресурсы кат. Р₃ свинца — 3,7 млн. т, цинка — 7,5 млн. т. Прогнозируется, что при постановке ГРП возможно выявление 2–3 крупных объектов с богатыми свинцово-цинковыми рудами с содержанием Pb+Zn на уровне 7–10 % и попутного Ag — 10–15 г/т.

Салаирская металлогеническая зона (Новосибирская и Кемеровская области, Алтайский край) включает рудные районы и поля, специализированные на полиметаллическое и золотое оруденение. Сведения о запасах и добыче металлов приведены в табл. 6. К нераспределенному фонду недр относятся такие месторождения, как Ново-Урское, Белоключевское и Самойловское, суммарные запасы руды которых по кат. А+В+С₁+С₂ составляют 29532 тыс. т (свинца — 29,8 тыс. т; цинка — 793,3 тыс. т; золота — 22064 кг; серебра — 379,4 т). На данный момент добыча не ведется, т.к. происходит обновление производства и внедрение новых технологий по глубокой переработке руды. Ранее оцененные прогнозные ресурсы в пределах металлогенической зоны составляют: цинка — кат. Р₁ — 762 тыс. т, Р₂ — 1542 тыс. т, Р₃ — 2193 тыс. т; свинца — кат. Р₁ — 72,7 тыс. т, Р₂ — 230 тыс. т, Р₃ — 305 тыс. т; меди — кат. Р₁ — 100 тыс. т, Р₂ — 585 тыс. т, Р₃ — 453 тыс. т. В настоящее время в пределах Салаирской металлогенической зоны за счет средств федерального бюджета ведутся опережающие геолого-геофизические работы, направленные на локализацию поисковых участков в пределах Салаирского и Южно-Салаирского рудных районов. В северной и западной частях Салаирской зоны предполагается выделение площадей для постановки прогнозно-металлогенических исследований.

Заключение

Запасы меди, свинца, цинка, учитываемые Государственным балансом, являются одними из самых крупных в мире и формально обеспечивают сегодняшний уровень добычи на 50–75 лет. Однако анализ пространственного распределения запасов и их качества позволяет сделать вывод о существовании ряда проблем при подготовке и освоении МСБ меди, цинка, свинца. Значительная часть запасов цветных металлов находится в труднодоступных районах, в которых нет необходимости для освоения месторождений инфраструктуры. Некоторые крупные месторождения обладают низким качеством руд, глубоким залеганием или сложными горнотехническими условиями отработки. При этом в старых горнорудных районах с действующими горно-обогатительными комбинатами наблюдается недоста-

точная, а в отдельных случаях критическая обеспеченность запасами. Это определяет необходимость проведения поисковых и прогнозно-металлогенических работ на медь, цинк и свинец в первую очередь на Южном Урале, Рудном Алтае, на Салаире и Енисейском кряже, в Нижнем Приамурье.

© Коллектив авторов, 2016

Иванов Анатолий Иннокентьевич // a.ivanov@tsnigri.ru
Вартанян Сергей Серопович // vartanyan@tsnigri.ru
Черных Александр Иванович // chernykh@tsnigri.ru
Волчков Алексей Гордеевич // nms@tsnigri.ru
Кузнецов Владимир Вениаминович // okt@tsnigri.ru
Серавина Татьяна Валерьевна // tanyaseravina@gmail.com

УДК 553.493:338.012

Быховский Л.З.¹, Левченко Е.Н.², Онтоева Т.Д.¹, Пикалова В.С.¹, Рогожин А.А.¹ (1 — ФГБУ «ВИМС», 2 — ФГУП «ИМГРЭ»)

ПЕРСПЕКТИВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОТРЕБНОСТЕЙ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ ПРОИЗВОДСТВ РОССИИ РЕДКОМЕТАЛЛЬНЫМ МИНЕРАЛЬНЫМ СЫРЬЕМ

*Приведены сведения о состоянии российской и мировой минерально-сырьевой базы редких металлов, конъюнктуре мирового рынка редкометалльного сырья и основных сферах его потребления. Обозначены ключевые проблемы отечественного минерально-сырьевого комплекса в области удовлетворения потребностей различных отраслей экономики страны в стратегических редких металлах. Даны рекомендации по освоению минерально-сырьевых ресурсов России для реализации задач по импортозамещению и развитию редкометалльной промышленности на средне- и краткосрочную перспективу. **Ключевые слова:** редкие металлы, минерально-сырьевая база, конъюнктура рынка, освоение месторождений, перспективы.*

Bykhovskiy L.Z.¹, Levchenko E.N.², Ontoeva T.D.¹, Pikalova V.S.¹, Rogozhin A.A.¹ (1 — VIMS, 2 — IMGRE)

PROSPECTS FOR HIGH-TECH INDUSTRIES RUSSIA NEEDS RARE METAL MINERAL RAW MATERIALS

*The article provides information about the state of Russian and world mineral resource base of rare metals, the world market and main areas of consumption. The key issues of domestic mineral complex are outlined for meeting the different sectors of the economy demand for strategic rare metals. Recommendations on the exploration of Russian mineral resources are given for realization of tasks on import substitution and development of rare metal industry in medium and short term. **Keywords:** rare metals, mineral resources, market conditions, development of deposits, prospects.*

Потребление редких металлов (РМ) в мире неуклонно возрастает, опережая темпы роста рынков других видов минерального сырья. В 2017 г. в мире будет примерно 1,5 млрд. смартфонов, а за несколько десятилетий широкого коммерческого распространения было произведено, вероятно, несколько миллиардов экземпляров мобильных телефонов разных моделей. Только компания Apple, с момента выпуска на рынок в 2007 г. первого смартфона iPhone, продала их по всему миру уже больше 1 млрд. штук.

Каждый раз, собираясь воспользоваться современным гаджетом, мы в определенном смысле берем в руки компактную таблицу Менделеева [9]. Так, для изготовления аккумулятора iPhone 6 применяются литий и кобальт (катод) и графит (анод). Процессор смартфона в основном сделан из кремния с микродобавками сурьмы, мышьяка, индия и галлия; в микроконденсаторах применяется тантал; в звуковой системе, в том числе для создания режима вибрации, используются микромагниты, включающие неодим, а также микродобавки других редкоземельных металлов (празеодима, диспрозия). Редкоземельные металлы (РЗМ) отвечают за цветовую гамму экранов (например, европий — за красный цвет, тербий — за зеленый и т.д.), а индий и олово обеспечивают функцию «touchscreen». Кроме того, используются и многие другие элементы: алюминий, железо, бор, фосфор, мышьяк, медь, серебро, золото, вольфрам — всего более 60 элементов периодической таблицы Менделеева. И самую ключевую роль здесь играют редкие металлы.

Термин «редкие металлы», широко используемый как в отечественной, так и в англоязычной литературе («rare metals»), не имеет единого общепринятого геологического или физико-химического толкования. Отнесение металла к «редким» не связано однозначно с характером его распространения в литосфере и обуславливается в определенной мере традицией, складывавшейся в среднесрочной ретроспективе. В сравнении с железом («ferrous metals») или основными цветными металлами («base metals»), такими как медь, цинк, никель и другие, можно говорить о меньших, как правило, содержаниях РМ в рудах, что зачастую не позволяет добывать (извлекать) их с приемлемой экономической эффективностью. Отличительной чертой РМ следует, видимо, признать относительно ограниченные объемы их производства. Действительно, в отличие от железа, меди, никеля, цинка и других «обычных» металлов, ежегодное мировое производство которых измеряется миллионами тонн, большинство РМ производится в объемах от десятков до сотен тысяч тонн в год. С другой стороны, для РМ характерна их активная вовлеченность в сферу высокотехнологичных производств, где их применение, как правило, имеет особо важное значение. Для многих применений они, хотя и используются в весьма небольших количествах, оказываются абсолютно незаменимы, что позволяет все более уверенно говорить о наступлении эпохи редких металлов [9]. Этой исключительной ролью редких металлов в развитии современных и перспективных технологий в электронике, «зеленой» энергетике, военной и аэрокосмической промышленности и других областях экономики, обусловлено особое внимание к ним как со стороны бизнеса, так и со стороны правительств отдельных государств.

К редким металлам разные авторы относят от 34 до более чем 50 элементов таблицы Менделеева [4]. При этом используются и другие термины для определения этой группы элементов [9]. Так, например, на Западе в последнее десятилетие появился термин «технологические металлы» («technology metals»). Термин используется в промышленности и употребляется в отношении тех металлов, которые особенно важны для производства высокотехнологичных приборов и оборудования, таких как миниатюризированные электронные изделия и продукция массового производства на их основе, оптоволокно, люминофоры, детекторы, катализаторы для нефтеперерабатывающей

и автомобильной промышленности, современные системы вооружений, «альтернативные» источники электроэнергии, электрические аккумуляторы, батареи, конденсаторы, постоянные магниты, конструкционные сплавы, керамика и др. Другой близкий термин «minor metals» активно используется базирующейся в Лондоне торговой организацией «Minor Metals Trade Association». Члены ассоциации ведут торговлю сорока девятью высокотехнологичными металлами, включая как те, что входят в традиционный отечественный список редких, так и вольфрам, молибден, кобальт, титан и ряд других, которые в современной отечественной традиции чаще относят к группе «цветных» металлов.

Как правило, РМ включены в перечни критических или стратегических сырьевых ресурсов, от состояния которых зависит безопасность развитых промышленных стран. Например, стратегия «Сырьевая инициатива» (The Raw Materials Initiative) Европейского союза (2013–2014 гг.) включает список из 20 критических видов минерально-сырьевых ресурсов, в который вошли бериллий, галлий, германий, индий, ниобий, редкоземельные металлы (РЗМ), а также сурьма, кобальт, вольфрам и ряд других металлов и неметаллов. В 2011 г. Комитет по науке и технологии Палаты общин Великобритании обсудил т.н. «стратегически важные металлы» («Strategically important metals»), в список которых вошли преимущественно редкие металлы: РЗМ, бериллий, галлий, германий, гафний, индий, литий, ниобий, рений, тантал, ванадий, а кроме того, сурьма, хром, кобальт, магний, никель, титан, вольфрам, золото и металлы платиновой группы.

В перечень основных видов стратегического минерального сырья, утвержденный распоряжением Правительства Российской Федерации от 16 января 1996 года № 50-р, входят ниобий, тантал, цирконий, бериллий, скандий, германий, литий, рений, редкие земли иттриевой группы, а также сурьма, вольфрам, кобальт, титан и еще 14 видов твердых полезных ископаемых. Здесь следует отметить, что в отличие от этого последнего документа, появившегося 20 лет назад, перечень критических материалов Евросоюза пересматривается регулярно (раз в несколько лет). Важнейшими критериями являются значение минерального сырья для экономики и уровни рисков при обеспечении сырьем промышленности стран Евросоюза. Одним из факторов риска при этом является монополизация производства и поставок сырья одним или несколькими источниками. Так, 92 % мирового производства ниобия в 2010–2012 гг. пришлось на Бразилию, 90 % бериллия — на США; в то же время 69 % галлия, 59 % германия, 58 % индия, более 95 % РЗМ были произведены в Китае. Китай же произвел в этот период 87 % сурьмы, 56 % плавикового шпата, 86 % магния, 69 % природного графита, 85 % вольфрама. За прошедшие несколько лет баланс мирового производства основных стратегических и критических материалов мало изменился.

Российская Федерация [2, 5, 6] обладает одним из крупнейших в мире минерально-сырьевым потенциалом редких металлов. В 2014 г. ВИМСом совместно с ИМГРЭ был составлен наиболее полный информационный реестр отечественных месторождений, рудопроявлений и перспективных площадей, содержащих РМ (учитывались 34 химических элемента, относимые к редким современной отечественной геологической практикой). Общее количество единиц учета в этом реестре составило 374 объекта. Только в государственном балансе запасов полезных ископае-

мых учтены 263 месторождения, из них 60 месторождений, в которых РМ присутствуют в числе основных полезных компонентов. 165 участков недр, содержащих Li, Be, Nb, Ta, TR иттриевой группы, относятся к категории объектов федерального значения. В настоящее время Россия занимает по разведанным запасам редких металлов ведущие места в мире (1-е место по Ta и Be, 2-е место по РЗМ, Nb и Li, 3-е — по Zr). Однако степень освоения минерально-сырьевых ресурсов крайне низкая. Добыча редкометалльных руд в настоящее время производится на весьма ограниченном количестве объектов, невелики и объемы производства товарной продукции (особенно по сравнению с аналогичными показателями в поздний советский период). Редкометалльная, в т.ч. редкоземельная продукция производится в основном из лопаритовых концентратов Ловозерского ГОКа на ОАО «Соликамский магниевый завод» (СМЗ). При разработке апатит-магнетитовых руд Ковдорского месторождения АО «Ковдорский ГОК» попутно извлекается бадделит (ZrO_2), перерабатываемый на Чепецком механическом заводе. В незначительных объемах до 2013 г. велась добыча пироксеновых руд на Татарском месторождении ниобия, есть данные о попытках возобновления этого производства. В рамках опытно-промышленной эксплуатации Туганского титан-циркониевого месторождения (Томская обл.) до 2013 г. АО «ТГОК Ильменит» производил некоторое количество циркониевого и ильменитового концентратов, в настоящее время месторождение готовится к промышленной отработке. Извлечение германия производится ООО «Германий и приложения» из углей Павловского месторождения (Приморский край), ванадия — из титаномагнетитовых концентратов Качканарского ГОКа, галлия — из нефелиновых руд на Ачинском глиноземном заводе. Кадмий извлекается при переработке цинковых концентратов на Челябинском цинковом заводе, а также на заводах «Дальполиметалл» и «Электроцинк».

Запасы рассеянных элементов (галлий, германий, индий, гафний, рубидий, цезий, рений, селен, скандий, таллий, теллур), учтенные государственным балансом в качестве попутных компонентов рудных месторождений, как правило, регулярно списываются, но практически не извлекаются (или извлекаются в очень небольших объемах) в товарные продукты (за исключением германия, а также частично селена и теллура в ПАО «Норникель»).

В опытно-промышленном режиме проводились работы по попутной добыче скандия из урановых пластово-инфильтрационных месторождений Зауралья (АО «Далур»), а также работы по попутному извлечению РЗМ из апатитов Хибин при их переработке на удобрения компаниями Группы «Акрон» и АО «Апатит».

Многочисленно обсуждались и анализировались причины, по которым в современной России освоение значительной по запасам минерально-сырьевой базы (МСБ) РМ находится на крайне низком уровне, в десятки раз уступающим уровню Советского Союза и существенно уступающим передовым промышленным экономикам мира. Среди этих причин:

низкое качество руд большинства отечественных месторождений по сравнению с мировыми, а в ряде случаев практическое отсутствие геолого-промышленных типов, поддающихся эффективной малозатратной отработке; высокая комплексность руд; трудная обогатимость; нередко повышенная радиоактивность; во многих случаях слож-

ные географо-экономические и нередко горнотехнические условия, снижающие инвестиционную привлекательность месторождений;

отсутствие современных промышленных технологий глубокой переработки редкометалльного минерального сырья с высокой добавленной стоимостью; недостаточные мощности или отсутствие необходимых действующих перерабатывающих промышленных производств (так, основные предприятия по глубокой переработке бериллиевых, редкоземельных, танталовых концентратов остались за пределами России после распада СССР);

неразвитость (или практически полное отсутствие) отечественной промышленности высокотехнологичного производства продукции с применением РМ, и как следствие — низкий внутренний спрос на редкометалльную продукцию.

Для того, чтобы преодолеть эти мешающие факторы была разработана Подпрограмма 15 «Развитие промышленности редких и редкоземельных металлов» государственной программы Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности», утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 30.01.2013 № № 91-р. Цель подпрограммы 15 обозначена как создание в Российской Федерации конкурентоспособной редкоземельной (редкометалльной) промышленности полного технологического цикла для удовлетворения потребностей отечественного оборонно-промышленного комплекса, гражданских отраслей экономики и выхода на зарубежные рынки. Одним из основных мероприятий первого этапа реализации подпрограммы (2013–2016 гг.) является комплекс НИОКР по развитию научно-технологического задела в отрасли. Для реализации этапа Минпромторгом России заключены 40 государственных контрактов на выполнение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по следующим основным направлениям:

разработка технологий извлечения, разделения и получения редких металлов;

разработка технологий получения чистых и высококачественных индивидуальных редких металлов и других редких металлов и их соединений;

разработка технологий получения материалов и высокотехнологичной продукции нового поколения на основе и с применением РМ.

Важно, что обязательным условием выделения бюджетных средств на выполнение НИОКР является организация внедрения их результатов в промышленное производство в течение следующего (2017–2020 гг.) этапа реализации подпрограммы.

В конце 2016 г. Минпромторг России, вероятно, проведет всестороннюю оценку результатов выполнения НИОКР первого этапа и опубликует их. Однако следует отметить, что ориентиры развития промышленности и производства редких металлов к 2020 г. сформулированы подпрограммой 15 нечетко и малообоснованно. Предполагается, что потребление РМ в России возрастет по основным металлам (ниобий, ванадий, бериллий, литий) в среднем в 2 раза. В другом месте указано, что России необходимо производить ниобия вплоть до 2020 г. не менее 20 тыс. т, при том, что сегодняшнее производство составляет около 2000 т. Более определенно, но не менее сомнительно, сформулированы целевые установки Подпрограммы относительно РЗМ (табл. 1).

Таблица 1
Сценарии и показатели развития РЗМ промышленности
 (по подпрограмме 15)

Показатели	Инерционный сценарий	Базовый сценарий	Оптимистический сценарий
Объем потребления в 2020 г.	2–3 тыс. т	5–7 тыс. т	12–15 тыс. т
Требуемый объем производства	6 тыс. т	19,8 тыс. т	27 тыс. т
Доля импорта в потреблении	65 %	Не более 5 %	Не более 5 %
Объем экспорта	4 тыс. т	13 тыс. т	15 тыс. т
Доля мирового рынка в 2020 г.	3 %	11 %	15 %
Ввод мощностей с использованием критических технологий (год)			
Разделение	2017	2015	2014
Металлургия	2017	2015 (1-я оч.)	2014
РЗМ-продукция	2018	2015 (1-я оч.)	2014

Сейчас уже очевидно, что развитие редкоземельной промышленности, в самом лучшем случае, будет реализовано по инерционному сценарию. Конъюнктура мирового рынка РЗМ явно не благоприятствует эффективной реализации планировавшихся в рамках подпрограммы инвестиционных проектов. Дополнительный шанс отрасли может дать реализация программы по импортозамещению до 2020 г. (распоряжение Правительства Российской Федерации от 30.09.2014 № 1936-р «Об утверждении плана содействия импортозамещению в промышленности»). В рамках этой программы Минпромторгом России приказами от 31 марта 2015 г. утверждены 20 отраслевых планов мероприятий по преодолению зависимости от импорта, в том числе в радиоэлектронике, гражданском авиастроении, станкоинструментальной, автомобильной, химической, электротехнической, медицинской промышленности, энергетическом, транспортном машиностроении; черной и цветной металлургии и ряде других отраслей. В частности, предусмотрено уменьшение к 2020 г. максимальной доли импорта в потреблении бериллия до 5 %, рения — до 70 % и РЗМ (металлы, сплавы, оксиды) легкой, средней и тяжелой групп — до 5 % (в 2014 г. эта доля по данным Минпромторга России составляла от 80 до 100 %). К сожалению, сегодня по многим ключевым для различных отраслей продуктам и технологиям Россия находится в критической зависимости от других стран и их политики. По данным ФТС России в январе-мае 2016 г. экспорт из России в страны дальнего зарубежья на 61,6 % определялся топливно-энергетическими товарами (преимущественно сырой нефтью и природным газом), а экспорт машин и оборудования составил 5,8 %. В то же время импорт машин и оборудования из этих стран составил 46,9 % от общих объемов. Важно, что в планах импортозамещения предусмотрен не только рост внутреннего производства руд, металлов, сплавов и другого сырья для отечественных высокотехнологичных производств, но и рост самих этих производств по отдельным видам продукции. Однако в любом случае Россия даже в долгосрочных своих планах не ставит и, очевидно, не может сегодня ставить целей по мировому лидерству в высокотехнологичных отраслях экономики. Все масштабные планы по импортозамеще-

нию не выводят промышленность на принципиально новое качество и касаются конкретных продуктов или технологий, уже имеющих свой код в общероссийском классификаторе продукции. В то же время ряд других стран ставят значительно более амбициозные задачи. Например, Китай объявил о плане инновационного развития китайской промышленности на ближайшие 10 лет — «Made in China 2025». В Германии реализуется стратегия четвертой промышленной революции «Индустрия 4.0», на реализацию которой правительство ежегодно выделяет до 10 млрд. долл. США. Аналоги этих программ существуют и у других передовых в высокотехнологичных сферах экономики стран: Нидерландов, Великобритании, Франции, Италии, США. Реальны ли планы Правительства Российской Федерации по развитию высокотехнологичных производств и импортозамещению, станет ясно в течение уже ближайших двух-трех лет. Но слишком уж велика инерция, созданная формировавшейся в последние 20 лет сырьевой моделью развития экономики.

Задача геологоразведочной отрасли — обеспечить создаваемые производства минерально-сырьевой базой. Рассмотрим перспективы ее освоения и развития на примерах стратегических видов редких металлов.

Редкоземельные металлы. В группу РЗМ входят лантан, лантаноиды и близкий им по свойствам иттрий. За рубежом в данную группу также включают скандий. Лантаноиды принято разделять на подгруппы: цериевую (La–Ce–Pr–Nd–Sm–Eu) и иттриевую — (Gd–Tb–Dy–Ho–Er–Tm–Yb–Lu), либо на три подгруппы: легкие (от La до Nd), средние (от Sm до Ho) и тяжелые (от Er до Lu) [4], либо говорят о легких и среднетяжелых. Среднетяжелые РЗМ более дефицитны. В этой связи примечательно, что Геологическая служба США (US Geological Survey) характеризует тяжелые РЗМ эпитетом «в особенности желательные». В докладе Пентагона по стратегическим и критическим материалам за 2013 г. в число дефицитных РЗМ включены Sc, а также Dy, Y, Tb, Tm и Er. Список значимости самых дорогих редкоземельных металлов выглядит так: тербий (Tb), неодим (Nd), европий (Eu), лютеций (Lu). Как уже сказано выше, именно РЗМ иттриевой группы включены в перечень основных видов стратегического минерального сырья Российской Федерации.

Мировые запасы РЗМ оцениваются в 130 млн. т (в пересчете на оксиды). Лидирует Китай, его доля составляет около 40 % (55 млн. т по данным US Geological Survey на 2015 г.). Кроме того, относительно высока доля России (24 %; 27,2 млн. т), США (21 %; 18 млн. т) и Бразилии (15 %; 22 млн. т). Большая часть РЗМ сосредоточена в бастнезитовых месторождениях КНР и США, монацитовых — в россыпях Австралии, Бразилии, КНР, Индии, Малайзии, ЮАР, Шри-Ланки, Таиланда и США, в корах выветривания карбонатитов — Австралии, России, в лопаритовых, апатитовых рудах — Ловозерского и Хибинского массивов России, остальные связаны с месторождениями ксенотима, ионноабсорбционных руд, эвдиалита.

Китай с середины 1980-х годов (главным образом за счет крупной ресурсной базы, низких производственных затрат и демпинговых цен) стал активно завоевывать рынок РЗМ. С тех пор его роль в мировой редкоземельной промышленности неуклонно повышалась. Действия Китая в рамках его новой концепции развития отрасли РЗМ привели в 2010 г. к неоправданно резкому росту цен на мировом рынке, а с другой стороны стимулировали мно-

гие страны к возобновлению геологоразведочных работ (ГРП) на редкие земли и их добычи. К январю 2011 г. исследования проводились 180 компаниями более чем по 275 редкоземельным проектам в 30 странах мира. Наибольшую активность в этом направлении проявили австралийские и канадские компании как на собственной территории, так и, прежде всего, в Африке. Из них около 50 проектов были направлены на ГРП на среднетяжелые РЗМ. В 2015 г. Китай, подчиняясь постановлению ВТО, был вынужден отменить квоты, а затем и пошлины на экспорт редкоземельных элементов (РЗЭ). В связи с этим, в 1–2 квартале 2016 г. объем экспорта РЗЭ из Китая существенно вырос. При этом средняя экспортная цена была на 15,3 % ниже по сравнению с тем же периодом прошлого года. В целом после пиковых значений 2010–2011 гг. цены на РЗМ существенно упали к 2013 г. и с некоторыми колебаниями продолжают падение. Это привело к частичному свертыванию ряда проектов по вводу в эксплуатацию новых объектов по добыче РЗМ в мире. Показательно, что компания Molycorp в 2015 г. была вынуждена вновь объявить о консервации («care and maintenance») производства на месторождении Mountain Pass, а затем и о начале процедуры банкротства. По мнению D. Kingsworth (IMCOA) в значительной степени падение цен на рынке обусловлено большим объемом нелегальной добычи в Китае и крупными складскими запасами (150–200 тыс. т), образовавшимися за последние годы. Ожидается, что в средне- или долгосрочной перспективе цены на рынке РЗМ могут подняться, однако нынешняя ситуация не благоприятствует развитию проектов по добыче РЗМ вне Китая, в том числе и в России.

По данным, приведенным в недавно опубликованном годовом отчете ОАО «СМЗ» [7], суммарный объем производства в Китае в 2015 г. остался на уровне 2014 г. — 150 тыс. т оксидов РЗМ с учетом нелегальной добычи и переработки. За пределами Китая в 2015 г. было произведено (оценочно): 2 тыс. т СМЗ (Россия), 4 тыс. т Molycorp (США), 9 тыс. т Lynas Corp (Малайзия) и 2 тыс. т IREL (Индия) и прочими (~1 тыс. т); суммарно — около 18 тыс. т ТРЕО. Соответственно оценочный объем мирового производства редких земель в 2015 г. ~168 тыс. т.

Таким образом, ситуация на рынке РЗЭ в настоящее время близка к докризисной 2010 г. с той разницей, что Китай не только удерживает свои позиции производителя, но и увеличивает потребление произведенной продукции в рамках стратегии «Made in China 2025».

По разведанным запасам РЗМ Россия занимает 2-е место в мире. Учетные государственным балансом запасы РЗМ составляют 27,2 млн. т, сосредоточены в 17 месторождениях, включая одно техногенное (Центральная-Нижняя россыпь бассейна р. Урасалаах в Якутии). Прогнозные ресурсы РЗМ составляют по кат. P_1 — 1,6 млн. т, а по кат. P_2 — 7,5 млн. т.

Добыча РЗМ в 2015 г. составила всего 84,6 тыс. т, причем большая часть руд была получена на апатит-нефелиновых месторождениях Хибинской группы (82,4 тыс. т), где РЗМ относятся к попутным компонентам и в настоящее время почти не извлекаются.

Промышленное извлечение РЗМ осуществляется исключительно из лопаритового концентрата руд Ловозерского месторождения, включающего 12 участков, из которых разрабатываются два: Карнасуртский и Кедык-вырпахский. Обеспеченность разведанными запасами

оценивается как высокая и составляет не менее 90 лет. Обогащение руд, добываемых Ловозерским ГОКом, производится на обогатительной фабрике в пос. Ревда Ловозерского района Мурманской области. До 1991 г. из сырья Ловозерского ГОКа обеспечивались потребности СССР в редкоземельной и ниобиевой продукции до 80 % и по танталу >50 %. В настоящее время ГОК работает с существенно более низкими показателями. Существуют возможности значительного увеличения объемов добычи. По оценкам [2] вполне реально достичь уровня добычи руды до 500 тыс. т в год, из которой может быть получено около 3 300 т РЗО, 870 т Nb_2O_5 и 70 Ta_2O_5 . Существенный потенциал увеличения объемов производства в перспективе лежит в освоении новых участков Ловозерского массива. Так, при отработке эвдиалитовых руд участка Аллуайв при производительности 500 тыс. т руды в год может быть получено около 1 700 т РЗО с долей иттриевой группы около 40 % и 12 тыс. т ZrO_2 в концентратах [2].

Товарный лопаритовый концентрат, содержащий TiO_2 — 35–38 %, оксидов РЗМ (ТРЕО) — 28–30 %, Nb_2O_5 — 7,5–8,0 %, Ta_2O_5 — 0,5–0,8 %, направляется для переработки на СМЗ. В результате переработки производятся: карбонаты и оксиды РЗЭ; пентахлориды и пентаоксиды ниобия и тантала; тетрагидрид титана и губчатый титан. Объем переработки лопаритового концентрата в 2015 г. составил 8 509 т, что на 10,5 % больше уровня, достигнутого в 2014 г. (7 699 т) [7]. В 2015 г. СМЗ поставил соединений РЗМ в пересчете на содержание оксидов (ТРЕО) — 2 312,3 т (в 2014 г. — 2 133,8 т). При этом 1 194,9 т оксидов и разделенных продуктов было поставлено в страны Европы, 888,8 т — в Азию. На российский рынок поставки составили 228,6 т оксидов РЗМ в основном в составе продуктов разделения.

По собственной оценке доля СМЗ в мировом производстве РЗМ в 2015 г. составила 1,4 %, в РФ — более 90 %. В советский период годовая производительность СМЗ по концентрату поднималась до 16 000 т, что обеспечивало получение около 4 500 тыс. т коллективных карбонатов РЗМ (в пересчете на оксиды). Очевидно, связка ООО «Ловозерский ГОК»—ОАО «Соликамский магниевый завод» вполне способна обеспечить в перспективе значительное увеличение и поддержание в течение долгосрочной перспективы производства РЗМ.

Другой потенциальный источник редкоземельных металлов — апатит-нефелиновые руды Хибинского массива (Мурманская обл.). Опытная установка по переработке апатита с попутным извлечением РЗМ из экстракционной фосфорной кислоты производительностью 12 т РЗМ в год создана в ОАО «ФосАгро-Череповец». Опытное промышленное производство РЗМ при переработке апатита по азотнокислотной технологии производительностью до 200 т/год в г. Великий Новгород официально представлено общественности в присутствии Президента России в июле 2016 г. Будут ли в конечном итоге налажены такие производства в промышленных масштабах с производительностью в тысячи тонн в год и окажутся ли они рентабельными, остается неясным. И все-таки, даже с учетом относительно низких прогнозируемых показателей извлечения РЗМ при переработке апатита (особенно по серноокислотной технологии), следует рассматривать этот источник РЗМ как один из наиболее перспективных для России, тем более что доля балансовых запасов РЗМ только восьми Хибинских месторождений составляет около 57 % обще-

российских. Стоит отметить, что в апатитах Хибин относительное содержание РЗМ иттриевой группы составляет 11 %, что выше, чем в лопаритах Ловозерского месторождения (2 %). Из объектов распределенного фонда только редкоземельно-ниобий-танталовые руды Катугинского месторождения имеют этот показатель выше — 50 %, тогда как скандий-редкоземельно-ниобиевые руды участка Буранный Томторского рудного поля — 10 %.

Важнейшим объектом распределенного фонда недр, ввод которого в эксплуатацию может коренным образом изменить ситуацию на рынке РЗМ, ниобия, скандия, является уч. Буранный Томторского рудного поля. Лицензию на право пользования этим участком получило в 2014 г. ООО «Восток Инжиниринг», созданное корпорацией «Ростех» и группой «ИСТ». Компания активно выполняет ГРП, утвержден проект опытно-промышленной добычи, ведутся технологические исследования. Переработка небогатой радиоактивной руды Томтора потребует масштабных инвестиций в создание специализированного гидрометаллургического производства для получения коллективных соединений РЗМ и дальнейшего разделения их на индивидуальные соединения. Эту проблему, однако, предстоит решать не только геологам, хотя на текущей стадии работ отраслевые институты активно участвуют в работах, связанных с освоением Буранного. ФГБУ «ВИМС» готовил по заданию ООО «Восток Инжиниринг» предпроектные рекомендации для организации ГРП, выполнял исследования по разработке методик химического анализа руд и стандартных образцов состава, участвует в разработке технологических схем переработки руды. Кроме того, в рамках мероприятия 2 подпрограммы 15 ОАО «Якутскгеология» в сотрудничестве с ФГБУ «ВИМС» выполняет оценочные работы на Северном и Южном участках Томторского рудного поля [1].

Практически все отечественные месторождения, содержащие РЗМ, являются комплексными. Эффективное освоение таких месторождений в принципе позволит также обеспечить любые реальные потребности российской промышленности по таким редким металлам, как *ниобий, тантал, цирконий, скандий и редкоземельные металлы легкой и среднетяжелой групп*. Кроме упомянутых выше месторождений Ловозерского массива, Хибин и Томторского рудного поля, следует отметить подготавливаемое к освоению (уже более 10 лет) Катугинское месторождение (Nb, Ta, TR, Zr) в щелочных метасоматитах (ЗАО «Катугино», Забайкальский край). Разведется и подготавливается к освоению Зашихинское месторождение (Nb, Ta) в альбититах, связанных с щелочными гранитами (ЗАО «Техноинвест Альянс», Иркутская обл.). В перспективе рекомендуется для освоения Белозиминское месторождение (P, Nb с попутными Ta и TR) в корках выветривания карбонатитов (Иркутская обл.). Месторождение детально разведано, в 2008—2013 гг. ФГУП «ВИМС» проведена геолого-экономическая переоценка, по результатам которой объект рекомендован к лицензированию и подготовке к промышленному освоению. Одновременно институт завершил оценочную стадию работ на Большетагинском месторождении (Nb) в микроклинитах и слюдах массивов ультращелочных карбонатитов (Иркутская обл.) [8]. В 2013 г. запасы месторождения поставлены на государственный баланс.

Главными потенциальными источниками *циркония*, кроме разрабатываемого Ковдорского, а также Катугинского, являются месторождения, связанные с древними

прибрежно-морскими титан-циркониевыми россыпями: подготавливаемые к освоению Туганское (Томская обл.) и СЗ часть Восточного участка Центрального (Тамбовская обл.), объекты нераспределенного фонда Бешпагирское (Ставропольский край), Лукояновское (Нижегородская обл.) и др.

Запасы *скандия* учтены государственным балансом в 6 месторождениях. При этом наиболее перспективными источниками скандия могут быть следующие объекты:

участок Буранный Томторского рудного поля в переотложенных и эпигенетически измененных корках выветривания карбонатитов (Республика Саха (Якутия) (содержание Sc_2O_3 в рудах этого месторождения (0,048 %) является самым высоким в мире);

уже упоминавшееся Туганское месторождение в циркон-титановых россыпях (Томская обл.) (запасы скандия утверждены в ильмените, рутиле и цирконе).

Еще один возможный источник скандия — хвосты обогащения титаномагнетитовых руд Гусевгорского месторождения (Свердловская обл.). Скандий здесь концентрируется в породообразующих минералах габбро-ультрабазитов: пироксенах и роговой обманке. Извлечение скандия из пироксеновых хвостов обогащения титаномагнетитовых руд рациональнее всего организовать на базе ОАО «ЕВРАЗ Качканарский ГОК». Прогнозные ресурсы скандия в хвостах обогащения оцениваются в 120 тыс. т. Также перспективным источником скандия являются пластово-инфильтрационные месторождения урана Долматовское и Добровольское (Курганская обл.), месторождения Витимского рудного района (Республика Бурятия) и другие объекты. Извлечение скандия из руд этих месторождений возможно методом скважинного подземного выщелачивания.

Государственным балансом учитываются 35 месторождений, содержащих *бериллий*. Основными потенциальными источниками бериллия являются подготавливаемое к освоению Ермаковское месторождение (Be) (Республика Бурятия), а также хвосты обогащения обрабатываемых Ярославским ГОКом флюоритовых месторождений Пограничное и Вознесенское (Приморский край). При обогащении руд редкие металлы (Be, Li, Rb, Cs) накапливаются в хвостах обогащения; складированные хвосты на данный момент представляют собой крупное техногенное редкометалльное месторождение, запасы которого постоянно пополняются.

Вместе с тем, в настоящее время завершаются 6 объектов ГРП по воспроизводству МСБ редких металлов, выполняемых за счет средств федерального бюджета. Два объекта выполняются по подпрограмме ВИПР: поисковые работы на Алгаминском рудопроявлении циркония и поисковые работы на рудопроявлении бериллия Снежное. Четыре объекта выполняются в рамках реализации мероприятия 2 «Развитие минерально-сырьевой базы редких и редкоземельных металлов» подпрограммы 15. Это «Оценочные работы на Северном и Южном участках Томторского рудного поля (Республика Саха (Якутия))», «Поисковые и оценочные работы на Чуктуконском рудном поле (Красноярский край)», «Оценочные работы на редкометалльном рудопроявлении Отбойное (Иркутская область)», «Поисковые и оценочные работы на редкоземельные металлы в пределах Куларского рудно-россыпного района (Республика Саха (Якутия))». Попутно отметим, что также в рамках подпрограммы 15 выполняются три НИОКР по методическому обеспечению ГРП на РМ, в результате которых созданы и внедрены в практику различ-

ные виды аналитических, минералогических, технологических методов и средств метрологического контроля, позволяющие надежно подготовить изучаемые объекты к последующему лицензированию и эксплуатации.

Суммарно по реализации основного мероприятия 15.2 подпрограммы запланировано получение прироста прогнозных ресурсов и запасов РМ и РЗМ в следующих объемах: Nb₂O₅: P₁ — 800 тыс. т, C₁ + C₂ — 500 тыс. т; Ta₂O₅: C₁ + C₂ — 3 тыс. т; TR₂O₃: P₃ — 70 тыс. т, P₂ — 5 тыс. т, P₁ — 1 200 тыс. т, C₁ + C₂ — 1 554 тыс. т; Sc₂O₃: C₁ + C₂ — 10 тыс. т. Предварительные данные указывают на реальные перспективы существенного превышения этих показателей по результатам работ.

В целом и задачи по импортозамещению и задачи подпрограммы 15 в части обеспечения МСБ создаваемых производств по стратегическим видам минерального сырья: РЗМ (как иттриевой, так и цериевой групп), скандию, ниобию, танталу, бериллию, цирконию, — могут быть решены за счет эффективного освоения отечественных месторождений. В табл. 2 приведены расчетные показатели возможного получения товарной продукции на ряде редкометалльных объектов распределенного и нераспределенного фонда недр.

Германий. Основным источником германия в мире являются сульфидные руды и, в меньшем объеме, бурые угли. Из 19 российских месторождений, учтенных государственным балансом полезных ископаемых, более 64 % запасов сосредоточено в германий-буроугольных месторождениях Приморского края, Читинской и Сахалинской обл. Среднее содержание германия в углях Павловского месторождения (Приморский край) — 190,7 г/т, участка Черемшовый Нижне-Бикинского буроугольного месторождения — 83,2 г/т Ge, Новиковского германий-буроугольного месторождения (Сахалинская область) — 232 г/т Ge, Тарбагатайского германий-буроугольного месторождения (Забайкальский край) — 53 г/т Ge, шахтных полей Ульяновского и Казанковского (Кемеровская область) — на превышает

4 г/т. В медно-колчеданных месторождениях Урала и Приволжья содержание германия 1,5–6,5 г/т. В Республике Коми в магнетитовых рудах — 13–14,8 г/т. Сегодня единственным источником германия для российской промышленности является Павловское буроугольное месторождение, разрабатываемое открытым способом ООО «Германий и приложения» на участках распространения германий-содержащих углей. В ближайшей перспективе для России в качестве промышленных источников германия можно

Таблица 2

Расчетные показатели возможного производства редких металлов на базе месторождений распределенного и нераспределенного (*) фонда недр

Месторождение	Мощность по перераб. руд, тыс. т/год	Выпуск товарной продукции, т/год					
		TR ₂ O ₃	Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	ZrO ₂	Ge	Другие РМ
Ловозерское (Мурманская обл.)	450	3000	65	790	—	—	
Хибинская группа (Мурманская обл.)	30000	27700	—	—	—	—	SrO — 62000
Ковдорское (Мурманская обл.)	18000	—	—	—	7500	—	—
Туганское (Томская область)	3 млн. м ³	1000	—	—	15700	—	—
Орловское (Забайкальский край)	570	—	53 (в конц-те)	—	—	—	—
Ермаковское (Республика Бурятия)	30	—	—	—	—	100	—
Вознесенское (Приморский край)	630	—	—	—	—	160	Li ₂ O — 2280
Пограничное (Приморский край)	86	—	—	—	—	54	Li ₂ O — 110
Зашихинское (Иркутская область)	1000	—	187	2250	—	—	—
Томторское, уч. Буранный (Республика Саха (Якутия))	150	12760	—	8350	—	—	Sc ₂ O ₃ — 36
Катугинское (Забайкальский край)	1000	2580	90	1770	11000	—	—
Белозиминское* (Иркутская обл.)	2780	6000	—	5200 (Nb в ФНБ)	—	—	РЗМ в апатитовом конц-те
Большектагнинское* (Иркутская обл.)	1000	—	—	3400 (Nb в ФНБ)	—	—	РЗМ в апатитовом конц-те
Уч. Аллуйв* (Мурманская обл.)	500	1700	—	—	12000	—	—
Чуктуконское* (Красноярский край)	150	3100	—	1300	—	—	—
Колмозерское* (Мурманская обл.)	750	—	30	40	—	18	Li ₂ O — 2000
Вишняковское* (Иркутская обл.)	780	—	145 (в конц-те)	—	—	10 (в конц-те)	Li ₂ O (в карбонате) — 180
Монацитовые концентраты Госрезерва* (Свердловская обл.)	4000	2000	—	—	—	—	—

рассматривать только германий-буроугольные месторождения. Из медноколчеданных и магнетитовых руд, а также из каменных углей германий в настоящее время не извлекается. Стратиформные свинцово-цинковые месторождения, являющиеся одним из основных источников германия в зарубежных странах (США, Канада), в России представлены Сарданинским месторождением в Якутии, которое находится в экономически неосвоенном районе и имеет неоднозначные перспективы освоения.

Возможными мерами по минимизации рисков с обеспечением германиевым сырьем могут стать: подготовка к лицензированию и последующему вводу в эксплуатацию участков германий-буроугольного месторождения Нижне-Бикинское; разработка СГД-технологий отработки маломощных глубокозалегающих буроугольных пластов (месторождение Шкотовское); комплекс поисковых работ на германий в бурых углях на площади буроугольных депрессий Забайкальского края (Тарбагатайская, Чикойская, Алтано-Кыренская и Южно-Аргунская); поиски и оценка новых легкообогатимых источников германиевого сырья (германиеносные лигниты Касской впадины (Красноярский край)).

Рений. Ведущим источником рения в мире являются руды медно-порфириновых месторождений на долю которых приходится более 50 % запасов. Второй по значимости тип — рениевый в месторождениях медистых песчаников и сланцев. В России учтено 5 месторождений молибденового и медно-порфирирового типов из которых только одно (Ак-Сугское в Республике Тыва) содержит запасы, пригодные для промышленного получения рения. Среднее содержание рения в рудах молибденовых месторождений 0,01–0,04 г/т. Молибденовые концентраты, производящиеся в России на Сорском и Жирекенском комбинатах, никогда не служили источником рения из-за его низкого содержания в концентрате 20–100 г/т.

Кроме того, в Сахалинской области известны динамические запасы рения в количестве около 36 т/год по рудопроявлению вулкан Кудрявый.

Отличительной особенностью потребления первичного рения в России является полная зависимость от импортного сырья, т.к. собственных активных сырьевых источников рения у России практически нет. Текущая видимая потребность российской промышленности в рении — около 2,5 т. Из них большая часть приходится на нефтеперерабатывающую промышленность — 1,5–1,8 т (с возможностью рециклинга), на авиационную промышленность — 500–600 кг и оставшееся — на медицину и электротехнику. Между тем в программе развития гражданской авиации к 2020 г. предусмотрен ввод в строй более 800 машин, примерно столько же планируется произвести военных самолетов, в том числе и по экспортным контрактам. Все это может привести к увеличению потребления рения до 6,5–7 т в год. Таким образом, перед геологической отраслью встает проблема ускоренной подготовки и ввода в эксплуатацию рениевых объектов. Основными проблемами рениевого сегмента является, прежде всего, отсутствие подготовленных к разработке объектов. Стоящие на балансе большинство объектов не удовлетворяют современным требованиям промышленности по содержанию рения как в первичных рудах, так и в концентратах, в связи с чем рений из руд не извлекается.

Ближайшим по готовности потенциальным источником рения могут стать руды Ак-Сугского месторождения

(Республика Тыва), подготавливаемого к освоению. Несмотря на тот факт, что в 2016 г. в результате работ ФГУП «ИМГРЭ» были поставлены на государственный баланс запасы рения по Брикетно-Желтухинскому месторождению (Рязанская обл.), вовлечение в освоение инфильтрационно-полиметаллических объектов Подмосковского бассейна по причинам экологических и сельскохозяйственных ограничений, а также технологических сложностей вряд ли реально. Таким образом, на настоящий момент рений остается единственным редким металлом, не обеспеченным достаточным минерально-сырьевым потенциалом, подготовленным к освоению.

Ванадий. Основным источником ванадия в России являются титаномагнетитовые руды магматических месторождений. Из них обрабатываются Гусевогорское, Первоуральское месторождения (Свердловская обл.) и Куранахское (Амурская обл.), подготавливаются к освоению Собственно-Качканарское (Свердловская обл.), Чинейское (Забайкальский край) и Большой Сэйим (Амурская обл.).

В целом МСБ ванадия удовлетворяет потребности отечественной промышленности. Совершенствование МСБ возможно за счет введения в эксплуатацию богатых руд Чинейского месторождения.

Литий. Месторождения лития в РФ в настоящее время не разрабатываются. Основным источником лития, обеспечивающим более 80 % мирового потребления, является литийсодержащая рапа соляных озер. Оставшаяся доля приходится на редкометалльные пегматиты. Иная картина наблюдается в российской минерально-сырьевой базе. Из 17 месторождений, учтенных Государственным балансом, только 9 пегматитовых, 2 — в слюдисто-флюоритовых и 4 — в редкометалльных и щелочных гранитах, 2 — забалансовые. Около 75 % балансовых запасов приходится на сподуменовые пегматиты месторождений Мурманской, Иркутской и Читинской областей, остальное — на месторождения с попутным литием: редкометалльные граниты с литиевыми слюдами и слюдисто-флюоритовые метасоматиты. Единственное разрабатывавшееся в Читинской области на литий Завитинское месторождение в настоящее время законсервировано. Видимая потребность российской промышленности в литии оценивается в 2–2,5 тыс. т в год, используемых в основном в авиационной промышленности (до 80 % видимого потребления) при производстве аккумуляторных батарей и химических источников тока, смазочных материалов. Потребности российских заводов в литиевом сырье и главных потребляемых продуктах — карбонате и гидроксиде лития на 100 % удовлетворяются за счет импорта из Чили, Китая и США. С учетом программы развития авиапромышленности можно ожидать рост потребления лития до 3,2–4,2 тыс. т в год.

Россия обладает очень крупными запасами лития, однако расположение сырьевых объектов в экономически неосвоенных районах, комплексность месторождений и, как результат, сложность технологических схем обогащения обуславливают низкую экономическую эффективность их эксплуатации и фактически делают основную часть балансовых запасов лития неактивными.

Возможными направлениями по обеспечению промышленности литиевым сырьем может стать вовлечение в освоение сподуменовых пегматитов (Колмозерского и Полмостундровского в Мурманской обл.), литийсодержа-

щих руд и хвостов обогащения флюоритовых апокарбонатных грейзеновых месторождений (Пограничное и Вознесенское в Приморском крае), а также нетрадиционных для России комплексных рассолов Иркутской области и Республики Саха (Якутия).

Гафний в качестве попутного компонента входит в состав циркониевых минералов, среди которых ведущее место занимает циркон. Промышленное значение для гафния имеет лишь незначительная часть добываемого циркона, используемого для переработки цирконовых концентратов в металлический цирконий.

Запасы гафния учтены в качестве попутного компонента в циркон-титановых россыпях подготавливаемого к освоению Лукояновского месторождения (Нижегородская обл.) и в гранитах щелочного ряда Улуг-Танзекского месторождения (Республика Тыва). Перспективы освоения последнего весьма сомнительны. Более перспективным источником гафния могут быть подготавливаемое к освоению Катугинское месторождение в щелочных метасоматитах (Забайкальский край) и упомянутое Лукояновское месторождение в цирконий-титановых россыпях.

Стронций. В России Госбалансом учтено 10 месторождений стронция, из них 8 — в апатит-нефелиновых рудах Хибинской группы и по одному в лопаритовых и целестиновых рудах.

В незначительных количествах стронций извлекается при переработке апатитовых концентратов. В случае возникновения потребности в стронции ее можно удовлетворить за счет более полной переработки апатитовых концентратов хибинских месторождений — ежегодный выпуск товарной продукции может составить 57–73 тыс. т SrO, а также за счет введения в эксплуатацию собственно стронциевого Мазуевского месторождения (Пермский край). Перспективным, но слабо изученным объектом является Халютинское стронцианитовое месторождение в вулканогенных карбонатитах (Республика Бурятия).

Запасы **рубидия** в качестве попутного компонента учтены в 15, а **цезия** — в 13 месторождениях. Попутная добыча рубидия и цезия осуществляется при отработке запасов апатит-нефелиновых руд Хибинской группы месторождений (Мурманская обл.), флюоритовых руд апокарбонатных грейзеновых месторождений Пограничного и Вознесенского (Приморский край), а также карналлитовых пород Верхнекамского месторождения (Rb) в Пермском крае, отработываемого на калийные и магниевые соли. Однако при обогащении этих руд оксиды рубидия и цезия теряются с отходами производства.

Перспективными объектами являются месторождения, связанные с танталовыми пегматитами: Вишняковское (Иркутская обл.) и Вороньтундровское (Мурманская обл.). Перспективным объектом являются также хвосты обогащения Ярославского ГОКа, отработывающего Пограничное и Вознесенское месторождения (Приморский край).

Индий, селен, теллур, таллий, кадмий входят в группу халькофильных рассеянных элементов. В качестве попутных компонентов их запасы учитываются в рудах медно-колчеданных, полиметаллических, медно-никелевых, оловянных и других месторождений. Многие из этих месторождений отработываются на основные полезные компоненты. Например, отработывается 34 месторождения с учтенными Госбалансом запасами селена, 34 месторождения с запасами теллура, 33 месторождения с запасами кад-

мия и т.д. Однако, рассеянные элементы (за исключением кадмия) не извлекаются (или отсутствуют данные об их извлечении). Относительно кадмия в ГБЗ «Рассеянные элементы» содержатся сведения, что этот металл извлекается из руд 30 разрабатываемых месторождений (из цинкового, медного, пиритового и свинцового концентратов).

Таким образом, проблем с этой группой редких металлов нет. Необходима только востребованность в них со стороны высокотехнологичных отраслей отечественной промышленности, технико-экономическое обоснование целесообразности извлечения рассеянных элементов из тех или иных месторождений и соответствующие инвестиции.

Из всего вышесказанного видно, что МСБ редких металлов России, за исключением рения, содержит месторождения, отработка которых позволит полностью удовлетворить самые высокие потребности отечественной промышленности. В связи с этим основное направление в развитии сырьевой базы в современных условиях должно заключаться в совершенствовании уже выявленных и зачастую разведанных месторождений путем проведения дополнительных геологоразведочных работ, геолого-экономической переоценки, выделения наиболее перспективных (первоочередных для освоения) участков, совершенствования технологии обогащения и перелома руд.

Важным источником ряда редких металлов могут также стать крупнотоннажные техногенные образования и месторождения [3]. К ним в первую очередь относятся:

красные шламы — отходы переработки бокситов на глинозем — возможный источник Sc, TR, Y, Zr;

фосфогипс — отходы переработки апатитовых концентратов — источник TR, Sr;

пироксеновые хвосты обогащения титаномагнетитовых руд (Качканарский ГОК) — источник Sc;

хвосты обогащения флюоритовых руд (Ярославский ГОК) — источник Be, Li, Rb, Cs;

хвосты обогащения апатит-магнетитовых руд (Ковдорский ГОК) — источник Zr.

Источниками редких металлов также могут стать золы и шламы, образующиеся при сжигании бурых и каменных углей, отходы металлургических производств.

Минерально-сырьевая база рассмотренных металлов характеризуется рядом общих особенностей, осложняющих организацию производства. Критическим являющимся отсутствием перерабатывающих производств по выпуску продукции с требуемыми параметрами и низкий уровень внутреннего спроса. Существенно отрицательную роль играет фактор неразвитой инфраструктуры, понижающий экономические показатели освоения месторождений и их привлекательность для недропользователя. Особенности кредитной политики, закрывающие возможность «долгих» кредитов под низкие проценты также затрудняют, а чаще не позволяют недропользователям вести разработку объектов «с нуля». В целом высокие объемные показатели, характеризующие отечественную МСБ многих редких металлов, не должны внушать иллюзий, т.к. качество ресурсов зачастую ниже среднемирового уровня и при реальных геолого-экономических оценках с учетом текущей мировой конъюнктуры многие объекты оказываются малорентабельными. Вместе с тем параметры ряда отечественных месторождений вполне сопоставимы с таковыми для успешно отработываемых зарубежных объектов того же геолого-промышленного

типа. Не вызывает сомнений, что минерально-сырьевой комплекс России имеет большой потенциал освоения и развития, способный не только удовлетворить потребности отечественной промышленности, но и выйти с разнообразной редкометалльной продукцией на мировой рынок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Быховский, Л.З. Задачи дальнейшего изучения Томторского рудного поля с целью повышения его инвестиционной привлекательности / Л.З. Быховский, Е.И. Котельников, Е.Г. Лихникевич., В.С. Пикалова // Разведка и охрана недр. — 2014. — № 9. — С. 20–25.
2. Быховский, Л.З. Минерально-сырьевая база редких металлов Северо-Запада России — основа создания центра редкометалльной промышленности стран / Л.З. Быховский, В.С. Пикалова // Разведка и охрана недр. — 2015. — № 1 — С. 3–7.
3. Быховский, Л.З. Техногенные месторождения и образования редких металлов России / Л.З. Быховский, Л.В. Спорыхина, С.И. Ануфриева // Рациональное освоение недр. — 2014. — № 3. — С. 16–24.
4. 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. — 2015. — № 3. — С. 32–38.
5. Кременецкий, А.А. Редкометалльные месторождения России основные направления повышения их инвестиционной привлекательности / А.А. Кременецкий, Е.А. Калиш // Разведка и охрана недр. — 2014. — № 9. — С. 3–11.
6. Машковцев, Г.А. Перспективы рационального освоения комплексных тантал-ниобий-редкоземельных месторождений России / Г.А. Машковцев, Л.З. Быховский, А.А. Рогожин, А.В. Темнов // Разведка и охрана недр. — 2011. — № 6. — С. 9–13.
7. СМЗ. Годовой отчет за 2015 г. // Интернет-ресурс: http://смз.рф/index/godovye_otchet/
8. Темнов, А.В. Сценарии реализации минерально-сырьевого потенциала комплексных редкометалльных месторождений Зиминского рудного района / А.В. Темнов, В.С. Пикалова // Разведка и охрана недр. — 2013. — № 7. — С. 54–60.
9. David, Abraham. The elements of power: guns, gadgets and the struggle for a sustainable future in the rare metal age — Yale University Press / Abraham David. — 2016. — 288 p.

© Коллектив авторов, 2016

Быховский Лев Залманович // pikalova@vims-geo.ru
Левченко Елена Николаевна // levchenko@imgre.ru
Онтоева Татьяна Дмитриевна // ontoeva@vims-geo.ru
Пикалова Варвара Сергеевна // pikalova@vims-geo.ru
Рогожин Александр Алексеевич // rogojin@df.ru

УДК 550.84

Спирidonov И.Г., Килипко В.А., Левченко Е.Н., Ключарев Д.С. (ФГУП «ИМГРЭ»)

ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ГЕОХИМИЧЕСКОГО КАРТИРОВАНИЯ И ПОИСКИ НОВЫХ ИСТОЧНИКОВ НЕТРАДИЦИОННОГО РЕДКОМЕТАЛЛЬНОГО СЫРЬЯ

В статье приведены основные результаты работ ИМГРЭ в области региональных геохимических исследований, экологической геохимии, геохимических поисков нефтегазовых месторождений, геохимии Арктики. Дан обзор нетрадиционных источников редкометалльного сырья, показана их роль в формировании МСБ редких металлов России. Приведены основные характеристики нетрадиционных источников редких металлов, показаны результаты экспериментальных исследований по извлечению редких металлов, оценены перспективы и возможности освоения. **Ключевые слова:** прикладная геохимия, региональные геохимические исследования, редкие металлы, нетрадиционные источники редкометалльного сырья.

Spiridonov I.G., Kilipko V.A., Levchenko E.N., Klyucharev D.S. (IMGRE)

THE MAIN GOALS OF GEOCHEMICAL MAPPING AND A SEARCH OF NON-CONVENTIONAL SOURCES OF RARE METAL RAW MATERIALS

The article presents main results of the work IMGRE in regional geochemical research, environmental geochemistry, geochemical prospecting of oil and gas deposits, geochemistry of the Arctic. An overview of non-conventional sources of rare-metal raw materials, their role in the formation of the mineral resource base of rare metals of Russia. The main characteristics of alternative sources of rare metals, the results of experimental studies on extraction of rare metals, estimated the prospects and possibilities of development **Keywords:** applied geochemistry, regional geochemical survey, rare metals, non-conventional sources of rare metal raw materials.

Важнейшими направлениями деятельности Федерального государственного унитарного предприятия «Институт минералогии геохимии и кристаллохимии редких элементов» (ФГУП «ИМГРЭ») являются: развитие научных основ прикладной геохимии, проведение в составе региональных геолого-геохимических и геологосъемочных работ опережающих и специализированных видов исследований (экогеохимических, геолого-минералогических, космогеохимических и др.), а также мониторинг, комплексная опытно-методическая разработка, апробация, освоение и внедрение инновационных методов и технологий геологоразведочных работ, обогащения и переработки редкометалльного сырья, разработка и актуализация требований к качеству минерального сырья [8]. ФГУП «ИМГРЭ» является уникальным базовым научно-производственным предприятием геологической службы России, специализированным на проведении полного комплекса геологоразведочных работ — от региональных геолого-съемочных до поисковых.

В последние годы в сферу деятельности ФГУП «ИМГРЭ» вошли работы по геохимии Арктики и Арктического шельфа, а также методы геокосмического зондирования и исследования нетрадиционных источников редкометалльного сырья.

Результаты проводимых в России и за рубежом геологоразведочных работ показали особо важную роль регионального геохимического изучения территорий как метода, позволяющего выделять минералогические объекты различного ранга, перспективные на выявление месторождений полезных ископаемых [3]. Геохимические методы являются прямыми методами прогноза, позволяющими по следам того же вещества, образующего ископаемое месторождение полезных ископаемых, выйти на место его концентрации даже в случае отсутствия признаков оруденения на поверхности. Геохимические методы поисков — количественные методы, оперирующие численными показателями содержания химических элементов в горных породах, вмещающих месторождения полезных ископаемых. Немаловажным преимуществом геохимических методов поисков является возможность комплексной оценки территории (ресурсная, экологическая, минералогическая).

Целью региональных геохимических работ является создание геохимических основ для Госгеолкарты-1000/3 и -200/2 в полистном исполнении, в рамках топографических