

5. Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Радиоактивные металлы. — М.: ФГУ «ГКЗ». Утв. распор. МПР России от 05.06.2007 г. № 37-р.

6. Трач, Г.Н. Ресурсный потенциал рения территории России / Г.Н. Трач, С.М. Бескин // Разведка и охрана недр. — 2011. — № 6. — С. 26–32.

© Коллектив авторов, 2016

Карась Сергей Анатольевич // serge-karas@yandex.ru
Кременецкий Александр Александрович // nauka@imgre.ru
Орлов Сергей Юрьевич // nogik@mail.ru
Культин Юрий Владимирович // yukultin@yandex.ru
Шлычкова Татьяна Борисовна // shlychkova.tanya@yandex.ru

УДК 553.493:338.012

Быховский Л.З. (ФГБУ «ВИМС»), Архипова Н.А. (ФГУП «ИМГРЭ»)

РЕДКОМЕТАЛЛЬНОЕ СЫРЬЕ РОССИИ: ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ И РАЗВИТИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ

Показано состояние минерально-сырьевой базы важнейших редких металлов, выделены разрабатываемые месторождения и первоочередные объекты для промышленного освоения и проведения дальнейших геологоразведочных работ. Существующая минерально-сырьевая база позволяет не только удовлетворить потребности в сырье, но и выйти с разнообразной редкометалльной продукцией на мировой рынок. **Ключевые слова:** минерально-сырьевая база, редкие металлы, техногенные образования, месторождения, потребление и производство редких металлов.

Bykhovskiy L.Z. (VIMS), Arkhipova N.A. (IMGRE)

RARE METAL RAW MATERIALS IN RUSSIA: PROSPECTS FOR EXPLORATION AND DEVELOPMENT OF MINERAL RESOURCES

Shows the status of mineral resources base of critical rare metals selected deposits and priority areas for industrial development and further exploration. The existing mineral resource base allows us not only to meet the need for raw materials, but also to come up with a variety of rare metal products to the world market. **Keywords:** mineral base, rare metals, industrial deposit, consumption and production of rare metals.

К редким металлам в России принято относить 35 элементов: литий, рубидий, цезий, бериллий, стронций, кадмий, скандий, галлий, редкоземельные металлы (иттрий и 15 лантаноидов) (РЗМ), индий, таллий, германий, цирконий, гафний, ванадий, ниобий, тантал, селен, теллур, рений. К стратегическим видам минерального сырья относятся 19: литий, бериллий, ниобий, тантал, цирконий, скандий, германий, рений и редкоземельные металлы иттриевой группы (рис. 1). Один из основных показателей принадлежности редких металлов к такому — объем их мирового потребления — резко различается. Наибольшим объемом потребления характеризуется цирконий (1,4 млн. т цирконового концентрата), стронций (320 тыс. т целестинового концентрата) и РЗМ (124 тыс. т оксидов). Мировое потребление ванадия, ниобия, лития и кадмия измеряется десятками тысяч

тонн; селена, кадмия — тысячами тонн. Потребление остальных редких металлов менее одной тыс. т. Самыми низкими объемами потребления характеризуются рубидий, цезий, скандий и таллий — менее 10 т (табл. 1).

Потребление редкоземельных металлов также существенно различается по объемам. Более 80 % приходится на металлы цериевой группы. Однако к стратегическим видам сырья относятся иттрий и металлы иттриевой группы.

Редкие металлы в одних случаях формируют собственные месторождения (в большинстве комплексные), в других — являются попутными компонентами в месторождениях других видов сырья. Собственные место-

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII		
H							He		
(Li)	(Be)	B	C	N	O	F	Ne		
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar		
K	Ca	(Sc)	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni
Cu	Zn	Ga	(Ge)	As	Se	Br	Kr		
Rb	Sr	(Y)	Zr	(Nb)	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd
Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe		
Cs	Ba	La	Hf	(Ta)	W	(Re)	Os	Ir	Pt
Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn		
Fr	Ra	Ac	Ku						
Ce	Pr	Nd	Pm	(Sm)	(Eu)	(Gd)	(Tb)	(Dy)	(Ho)
(Er)	(Tm)	(Yb)	(Lu)						
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es
Fm	Md	No	Lr						

Рис. 1. Редкие металлы в таблице Д.И. Менделеева (стратегические в кругах)

Таблица 1
Объем мирового потребления редких металлов в 2015 г.

Элемент/ оксид	Объем потребления		
	высокий (>100 тыс. т), тыс. т	средний (>1 тыс. т), тыс. т	низкий (тонны), т
ZrO ₂	920	—	—
Sr	190	—	—
TR ₂ O ₃	124	—	—
V	—	80	—
Nb	—	56	—
Li	—	32	—
Cd	—	22	—
Se	—	2,2	—
Ta	—	1,6	—
In	—	—	770
Ga	—	—	435
Be	—	—	300
Ge	—	—	165
Te	—	—	150
Hf	—	—	95
Re	—	—	59
Tl	—	—	10
Cs	—	—	10
Rb	—	—	5
Sc	—	—	5

MCS 2016, расчеты ИМГРЭ



Рис. 2. Схема размещения редкометалльных месторождений и месторождений других полезных ископаемых, содержащих редкие металлы, разрабатываемых и перспективных для первоочередного освоения

рождения образуют Be, Li, Nb, Ta, Zr, TR, Sr, иногда Sc, Ge, V, Cs. В качестве попутных компонентов в рудах могут присутствовать все редкие металлы, в том числе образующие собственные месторождения.

По запасам подавляющего большинства редких металлов Россия занимает одно из ведущих мест в мире, однако разрабатываются всего 4 месторождения: Ловозерское (Ta, Nb, TR), Павловское (спецугли) (Ge), Ковдорское (P, Fe, попутный Zr), Далматовское (U, попутный Sc). Подавляющая часть редких металлов импортируется: литиевое сырье и циркон, феррониобий, бериллиевые и рениевые товарные продукты, танталовые порошки, большая часть видов редкоземельной продукции и др. Сегодня на российском сырье работают только три предприятия — ОАО «Соликамский МЗ», ОАО «Гидрометаллургический завод» (г. Лермонтов), ОАО «ХМЗ» (г. Красноярск), ОАО «НЗХК» (г. Новосибирск) — на карбонате лития из Чили, ОАО «ЧМЗ» (г. Чепецк) — на цирконовом концентрате из Украины и Австралии. Специфика отечественных собственно редкометалльных месторождений — огромные запасы при удаленности большинства объектов от развитых инфраструктур, высокая комплексность руд и их трудная обогатимость.

Рассмотрим в первую очередь стратегические металлы, образующие собственные месторождения Zr, Nb, Ta, TR, Be, Li, Ge. Схема размещения разрабатываемых и перспективных для первоочередного освоения месторождений представлена на рис. 2.

Ниобий, тантал, редкие земли. Nb учтен Госбалансом в 39 месторождениях, Ta — в 31, TR — в 17 (рис. 3). Из этих месторождений большинство являются комплекс-

ными: Ta, Nb, TR учтены в Ловозерском, Катугинском (+ Zr); Nb, TR — в Томторском (также Sc), Чуктуконском; Nb и Ta — в Зашихинском и 10 пегматитовых месторождениях (нередко с Li и Be). В качестве попутного компонента Nb, заключенный в сфене, учтен в 8 Хибинских апатитовых месторождениях; TR — в апатитах этих же месторождений; Nb, Ta, TR — в лейкоксене Ярегского месторождения. Единственное месторождение, разрабатываемое на TR, Ta и Nb — это Ловозерское. Из 7 разрабатываемых апатитовых месторождений Хибин Nb не извлекается, TR — в объеме опытного производства. Наиболее реальными источниками Nb и Ta могут стать подготавливаемые к освоению Катугинское и Зашихинское месторождения и ранее разрабатываемое на Nb (в 2001–2013 гг.) Татарское [1–4].

Ведутся геологоразведочные работы, и начинается опытно-промышленная добыча на Буранном участке Томторского месторождения, где в 2022 г. намечена его отработка. Основные полезные компоненты — Sc, TR, Nb. При разработке ТЭО постоянных разведочных кондиций на участке Буранный предусматривается производительность по руде 150 тыс. т/год, что позволит при соблюдении условий лицензионного соглашения обеспечить потребности России в Sc, TR, Nb в полном объеме и выйти на мировой рынок с редкометалльной продукцией высокой степени передела (высококачественные соединения, металлы и сплавы индивидуальных редкоземельных элементов, ниобия и скандия).

Крупным потенциальным источником Nb может стать сфен как из текущих, так и накопленных хвостов

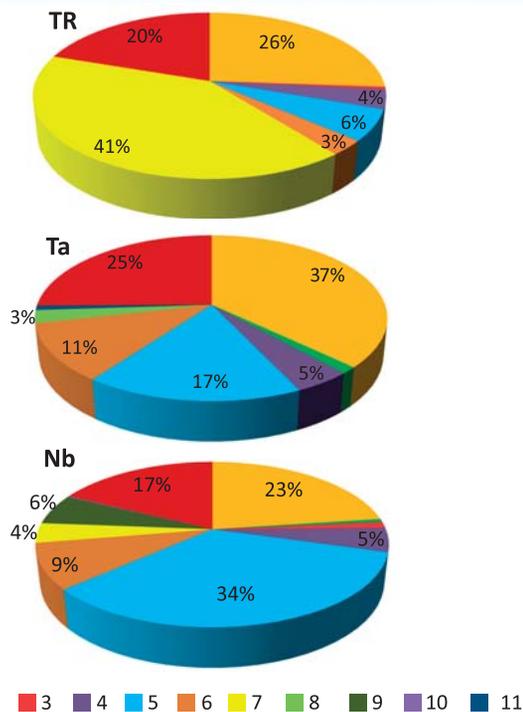


Рис. 3. Структура запасов редкоземельных металлов, тантала и ниобия России по состоянию на 01.01.2015 г. (кат. А+В+С₁+С₂): 1 — Ловозерское; 2 — Зашихинское; 3 — Томторское; 4 — Ярегское; 5 — Белозиминское; 6 — Катугинское; 7 — Хибинские месторождения; 8 — Вишняковское; 9 — Большетагнинское; 10 — Татарское; 11 — Орловское

обогащения апатитовых руд Хибин, а также находящиеся в нераспределенном фонде недр крупнейшее разведанное Белозиминское и оцененное Большетагнинское месторождения [5].

Увеличение выпуска **танталовой продукции** возможно также при возобновлении добычи на Орловском месторождении и вовлечение в промышленное освоение Вишняковского и ряда участков Ловозерского месторождений. К реальным источникам **редкоземельных металлов**, кроме ранее упомянутых Ловозерского и Катугинского, относятся апатитовые концентраты Хибин; монацитовые концентраты Госрезерва (72 тыс. т), а также куларит (разновидность монацита) из техногенного месторождения Якутии (хвосты обогащения золотосных россыпей Куларского района) [1, 2]. К потенциальным источникам могут быть отнесены техногенные образования — фосфогипс, красные шламы, где созданы опытно-промышленные установки. Запасы TR в этих образованиях не учтены Госбалансом, но они могут быть разведаны в короткие сроки с учетом их технологической изученности при приемлемой себестоимости товарных продуктов, т. к. основные затраты будут отнесены на получение основной продукции: гипсовой вяжущей для фосфогипса; железа и алюминия из красных шламов.

Литий. Запасы Li₂O учтены в 15 месторождениях, в т.ч. — в 9 пегматитовых, 2-х — слюдисто-флюоритовых и 4-х — редкометаллических и щелочных гранитах. Реальные источники проблематичны. Альтернативой может стать извлечение Li₂O из хвостов обогащения Ярославского ГОКа или разработка существенно

Таблица 2
Объемы мирового потребления индивидуальных редкоземельных металлов (в порядке уменьшения)*

Элемент	Объем потребления в пересчете на оксиды	
	средний (>1 тыс. т), тыс. т	низкий (тонны), т
Ce	45	—
La	30	—
Nd	21	—
Y	12	—
Pr	6,5	—
Sm	2,3	—
Gd	2,2	—
Dy	1,7	—
Er	—	900
Yb	—	700
Eu	—	300
Ho	—	300
Tb	—	300
Tm	—	100
Lu	—	100

* Отчет ООО «Исследовательская группа «Инфомайн». — М., 2014

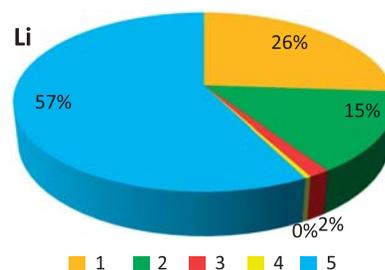


Рис. 4. Структура запасов лития России по состоянию на 01.01.2015 г. (кат. А+В+С₁+С₂): 1 — Колмозерское; 2 — Гольцовское; 3 — Вознесенское; 4 — Пограничное; 5 — другие

литиевых редкометаллических пегматитов — Колмозерского и Гольцового месторождений (после их геолого-экономической переоценки) (рис. 4).

Значительные неучтенные пока ресурсы лития связаны с гидроминеральными источниками сырья — поликомпонентными глубокозалегающими рассолами, обогащенными комплексом ценных компонентов, в том числе и литием [5]. Наиболее перспективным районом для постановки поисково-оценочных работ на литий является Ангаро-Ленский бассейн в Иркутской области, где апробированы прогнозные ресурсы лития кат. Р₁ и Р₂ по результатам поисково-ревизионных работ ИМГРЭ [6].

В качестве перспективного источника лития рассматриваются попутные рассолы хлоридного типа, извлекаемые при эксплуатации нефтяных, газоконденсатных и газовых месторождений Восточной Сибири, а также алмазных месторождений Якутии, в частности дренажные рассолы трубки Удачная. Технологически исследованиями установлена принципиальная возможность извлечения из них лития и других ценных компонентов, востребованных промышленностью.

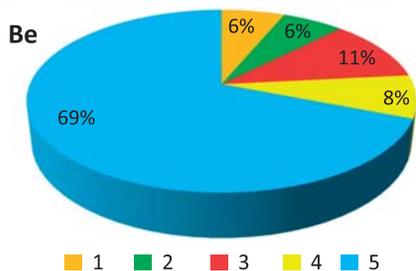


Рис. 5. Структура запасов бериллия России по состоянию на 01.01.2015 г. (кат. А+В+С₁+С₂): 1 — Малышевское; 2 — Ермаковское; 3 — Вознесенское; 4 — Пограничное; 5 — другие

Бериллий. Запасы ВеО учтены в 27 балансовых (7 — существенно бериллиевых) месторождениях (рис. 5). Основная часть запасов приходится на комплексные месторождения. Сегодня добыча в небольшом объеме ведется только на Малышевском месторождении, концентрат складирован. Реальный источник — возобновление добычи на Ермаковском месторождении, находящемся в распределенном фонде.

Возможным источником могут стать хвосты обогащения флюоритовых месторождений (Пограничное, Вознесенское), разрабатываемых Ярославским ГОКом (в настоящее время он законсервирован). При переделе текущих хвостов обогащения получаемое количество бериллиевых продуктов сможет не только полностью удовлетворить внутренние потребности, но и позволит их экспортировать. Огромные запасы Ве и Li заключены в накопленных хвостах.

Цирконий. Из 17 месторождений, в т.ч. — 5 коренных и 12 россыпных, учтенных Госбалансом РФ (рис. 6), разрабатывается лишь одно — апатит-магнетитовое Ковдорское, где бадделит добывается попутно в количестве до 10 тыс. т в год, извлечение бадделита составляет ~ 28 %. Бадделитовый концентрат получают также при переработке техногенных образований Ковдорского ГОКа. Опытная добыча рудных песков осуществляется с 2005 г. на Туганском россыпном Ti-Zr месторождении, выпуск цирконовых концентратов составляет около 300 т/год. В 2015 г. в новых условиях предусмотрена мощность предприятия 3013 тыс. м³/год, соответственно ежегодно будут получать 24,1 тыс. т цирконового концентрата. При перспективной потребности в 50–75 тыс. т ZrO₂ необходимо освоение ряда разведанных россыпных месторождений. Это — в первую очередь северо-западная часть Восточного участка месторождения Центральное (при мощности 2 млн. м³/год возможно получать ~ 9 тыс. т цирконового концентрата), Бешпагирское (при производительности 1,5 млн. м³/год; ~ 15 тыс. т концентрата), Лукоянское (при производительности 1 млн. м³/год; 19 тыс. т концентрата) и др. Дальнейшее увеличение выпуска циркония возможно в случае освоения Катугинского и эвдиалитовых руд Ловозерского месторождений. Следует завершить оценку нового вида сырья — циркон-бадделитовых руд Алгаминского рудопоявления и продолжить поисково-оценочные работы на Ti-Zr россыпи в Западной Сибири [3].

Рений — наименее обеспеченный и наиболее дефицитный редкий металл. Запасы Re учтены в 6 месторо-

ждениях: в 2-х — медно-порфировых, 3-х — молибденовых и 1 — пластово-инфильтрационном (рис. 7). Рентабельным и реальным может быть извлечение Re только из одного медно-порфирового Ак-Сугского месторождения, подготавливаемого к промышленному освоению, а также возможно из инфильтрационного Брикетно-Желтухинского, на котором в 2015 г. завершены ГРП оценочной стадии, ТЭО временных кондиций и запасы утверждены ГКЗ. Потенциальным источником Re является ренийсодержащее оруденение в кратере вулкана Кудрявый (п-ов Итуруп). В настоящее время ведутся работы по созданию опытно-промышленной установки по извлечению Re из фумарольных газов вулкана, с которыми в атмосферу ежегодно улетучивается около 2 т Re [3].

Скандий. Запасы скандия учтены в 6 месторождениях, из которых реальными можно признать титановые концентраты Туганского и руды Томторского месторождений. В действительности в настоящее время Sc извлекается из отходов от переработки импортных ильменитовых концентратов и растворов из пластово-инфильтрационных урановых месторождений (Далматовское и др.). Значительная перспектива связана с техногенными образованиями, красными шламами (отходами переработки бокситов), пироксеновыми хвостами обогащения титаномагнетитовых руд (Качканарский ГОК), а также, возможно, из золошлаковых отвалов бурых углей.

Германий. Запасы Ge учтены в 19 месторождениях, в т.ч. — в 5 месторождениях бурого угля, 2-х — каменного угля, 11 — медноколчеданных и 1 — магнетитовом. К активным запасам можно отнести только 5 месторождений в бурых углях (67 % запасов с содержанием Ge

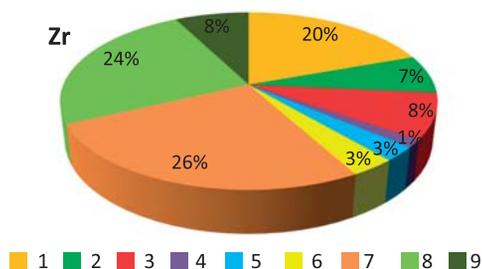


Рис. 6. Структура запасов циркония России по состоянию на 01.01.2015 г. (кат. А+В+С₁+С₂): 1 — Ковдорское; 2 — Центральное; 3 — Туганское; 4 — Бешпагирское; 5 — Камбулатское; 6 — Лукоянское; 7 — Катугинское; 8 — Улуг-Танзекское; 9 — другие россыпи

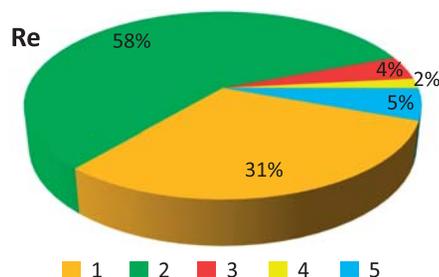


Рис. 7. Структура запасов рения России по состоянию на 01.01.2015 г. (кат. А+В+С₁+С₂): 1 — Михеевское; 2 — Ак-Сугское; 3 — Агаскырское; 4 — Мало-Ойногорское; 5 — Сорское

121 г/т). Разрабатывается на Ге Павловское месторождение в Приморском крае. Германий-угольные месторождения Приморья и Забайкалья, при условии их освоения, способны удовлетворить прогнозируемый внутренний спрос на ближайшие годы.

Рассеянные элементы, к которым, кроме Sc, Ge и Re, относятся V, Cd, Tl, Se, Ga, Hf, In, Rb, Cs, Te обычно входят в состав минералов в виде примесей и извлекаются из комплексных руд, а чаще из продуктов их передела — концентратов (Pb, Zn, Fe, Ti, Mo, Sn, W) или хвостов обогащения (Fe, Ni, флюорит) и передела (Al, Fe и др.).

Кроме официально установленных «стратегических металлов» к ним целесообразно отнести ванадий и индий, а среди редких земель, кроме лантаноидов иттриевой группы, также неодим и празеодим.

Известно, что от открытия месторождения до промышленного освоения требуется не менее 10–15 лет. Соответственно первоочередной задачей геологической службы является геолого-экономическая переоценка существующей минерально-сырьевой базы, что немислимо без государственной поддержки. Несомненно также необходимость проведения поисково-оценочных работ, направленных на выявление высокорентабельных месторождений.

Потребность Российской Федерации в редких металлах, даже стратегических, не установлена. Для освоения и развития МСБ редких металлов необходимо:

1. Определить спрос на редкие металлы на основе стратегического планирования деятельности российских промышленных предприятий с учетом экспортных возможностей.

2. Внедрить (при необходимости доработать) инновационные технологии добычи и переработки руд редкометалльных месторождений и горно-металлургических предприятий, где возможно попутное производство редких металлов.

3. Создать полный цикл производства — от добычи до редкометалльной высокотехнологичной товарной продукции высокой степени (4, 5) передела на основе частно-государственного партнерства.

4. Особое внимание уделить оценке и освоению техногенных образований (месторождений), как реальных источников редких металлов, прежде всего, редких земель, скандия, бериллия, лития, циркония.

5. Активизировать ГРР на гидроминеральное сырье и низкокомплексные редкометалльные объекты — литиеносные рассолы, инфильтрационные рениевые руды, иттрий и лантаноиды иттриевой группы в корах выветривания и др.

6. Создать государственный резерв стратегических редких металлов и уточнить список этих металлов.

Существующая МСБ редких металлов, где выделены месторождения, которые реально могут быть вовлечены в промышленное освоение в ближайшие годы, способна не только полностью удовлетворить потребности отечественной промышленности в редких металлах, но и выйти с самой разнообразной редкометалльной продукцией на мировой рынок. Однако это может произойти только при государственной поддержке развития редкометалльной отрасли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Архипова, Н.А. Модель развития промышленности и рынка РЗМ в России / Н.А. Архипова, Е.Н. Левченко, Н.М. Волкова, Т.Ю. Усова // Разведка и охрана недр. — 2014. — № 9. — С. 13–18.
2. Быховский, Л.З. О перспективах и очередности освоения минерально-сырьевого потенциала редкоземельного и скандиевого сырья России / Л.З. Быховский, С.Д. Потанин, Е.И. Котельников // Разведка и охрана недр. — 2016. — № 8. — С. 3–8.
3. Быховский, Л.З. Перспективы обеспечения потребностей высокотехнологичных производств России редкометалльным минеральным сырьем / Л.З. Быховский, Е.Н. Левченко, Т.Д. Онтоева, В.С. Пикалова, А.А. Рогожин // Разведка и охрана недр. — 2016. — № 9. — С. 106–115.
4. Кременецкий, А.А. Критические звенья высоких технологий / А.А. Кременецкий, Н.А. Архипова // Металлы Евразии. — 2014. — № 2. — С. 38–41.
5. Темнов, А.В. Сценарий 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.
6. Торикова, М.В. Природные ряды концентрирования литиеносных рассолов, определяющие технологию извлечения лития / М.В. Торикова, Е.Д. Михеева // Разведка и охрана недр. — 2016. — № 8. — С. 53–56.

© Быховский Л.З., Архипова Н.А., 2016

Быховский Лев Залманович // vims@df.ru
Архипова Надежда Александровна // arkna@yandex.ru

УДК 549.08:553.087

Левченко Е.Н. (ФГУП «ИМГРЭ»), Ожогина Е.Г. (ФГУП «ВИМС»)

МИНЕРАЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ В СИСТЕМЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ НЕДР, ДОБЫЧИ И ПЕРЕРАБОТКИ РЕДКОМЕТАЛЛЬНОГО СЫРЬЯ

*Рассмотрены современные задачи минералого-технологического сопровождения в системе геологического изучения недр, добычи и переработки редкометалльного сырья. На примере конкретных объектов рассмотрены возможности геолого-технологического картирования. **Ключевые слова:** редкометалльные руды, стадии геологоразведочных работ, минералогические исследования, технологические испытания, геолого-технологическое картирование.*

Levchenko E.N. (IMGRE), Ozhogina E.G. (VIMS)
MINERALOGICAL AND TECHNOLOGICAL SUPPORT
IN THE GEOLOGICAL EXPLORATION OF MINERAL
RESOURCES, MINING AND PROCESSING OF RAW
MATERIALS RARE-METAL ORE

*Considered modern mineralogical and technological tasks in the system of geological exploration, extraction and processing of rare metal ores. For example, specific objects considered possible geological-technological mapping. **Keywords:** rare-metal ore, exploration stage, mineralogical studies, technological tests, geological-technological mapping.*

К особенностям отечественных руд редких металлов, отличающих их от зарубежных аналогов, относятся сложный текстурно-структурный рисунок, включая значительное количество тонкодисперсных фаз, полиминеральный состав, обусловленный одновременным присутствием минералов разных парагенезисов, широко развитыми изоморфными замещениями, прежде