



ISSN 0034-026X

РАЗВЕДКА И ОХРАНА ЦЕНТР И ОХРАНА ПЕРИМЕТРА

ОСНОВАН В 1931 ГОДУ



1 — 2015

<http://rion-journal.com>



РАЗВЕДКА И ОХРАНА НЕДР

1 ♦ январь ♦ 2015

Основан в июле 1931 года

Ежемесячный
научно-технический
журнал

Учредители:
Министерство природных
ресурсов и экологии РФ,
Российское геологическое
общество

Главный редактор **Е.А. Киселев**

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

*Е.М. Аксенов, С.С. Вартамян,
А.А. Верчеба, А.Ф. Карпузов,
М.А. Комаров, А.К. Корсаков,
А.А. Кременецкий, В.С. Круподеров,
М.И. Логвинов,
Г.А. Машковцев (зам. гл. редактора),
Н.А. Мац, Н.В. Межеловский,
Н.В. Милетенко,
И.Г. Печенкин (зам. гл. редактора),
А.А. Рогожин, Н.В. Соловьев,
Е.Г. Фаррахов, Л.Е. Чесалов,
Ю.М. Эринчек*

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

*В.Н. Бавлов, Л.Г. Грабчак,
А.К. Климов, А.М. Коломиец,
И.Ф. Мигачев, А.Ф. Морозов,
О.В. Петров, П.В. Садовник,
Т.К. Янбухтин*

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

Старомонетный пер., 31,
Москва, 119017 Россия
тел.: (495) 950-30-25,
тел./факс (499) 238-15-67
Рук. редакционной группы
Тигунова М.И.
Науч. редактор Лявданская Н.К.
Редактор Гусева И.В.
Редактор-консультант Маркова С.Б.
Верстка Полищук Н.В.
E-mail: rion60@mail.ru
http://rion-journal.com

Подписные индексы:

• по Объединенному каталогу «Пресса
России» — 13007
• по каталогу Роспечати «Газеты,
Журналы» — 84412

СОДЕРЖАНИЕ

ГЕОЛОГИЯ И МЕТОДИКА ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ Быховский Л.З., Пикалова В.С. Минерально-сырьевая база редких металлов Северо-Запада России — основа создания центра редкометалльной промышленности страны	3
Мезенцева А.Е. Фазово-структурный метод исследования числовых моделей рудных объектов с целью локального прогнозирования	7
Бергман И.А. Железисто-кремнистые формации раннего докембрия и проблема кислорода	14
Митрофанов Н.П. Инновационная методика поисков месторождений гранито-фильного профиля	20
Каракиев В.В., Серебrenникова О.В. Геодинамические позиции нефтегазоносности триасового промежуточного комплекса юго-востока Западной Сибири	26
Эльгер Ю.С. К вопросу о границах покровного четвертичного оледенения в пределах Западной Сибири и Казахстана	30
ГЕОФИЗИКА Фоменко Н.Е., Коваленко А.С. Современное состояние методов наземной геофизики при проведении геологоразведочных работ на твердые горючие ископаемые	33
ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ Манукьян В.А., Анненков А.А., Глинский М.Л., Святовец С.В. Оценка проницаемости современных тектонических нарушений (ослабленных зон) в глинах с помощью опытно-фильтрационных работ	39
ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ Роголина Л.И., Калажиков Х.Х., Карамурзов Б.С., Калажиков З.Х. Элементы платиновой группы в техногенных отвалах скарново-шеелитового Лермонтовского месторождения (Приморье)	45
Хайнасова Т.С., Левенец О.О. Бактериально-химическое выщелачивание как экологически безопасный способ переработки сульфидной кобальт-медно-никелевой руды	49
УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОНОМИКА Лопатко С.В., Макеев А.Б. Фактор «Фукусимы» на рынке редкоземельных элементов	54
Росман Г.И., Быховский Л.З., Королева Н.Л. Проблемы совершенствования методических документов, предназначенных для составления эколого-экономических разделов ТЭО кондиций при подсчете запасов месторождений твердых полезных ископаемых	60
ОХРАНА НЕДР И ЭКОЛОГИЯ Рогозина Е.А., Моргунов П.А., Тимергазина И.Ф., Шапиро А.И. К проблеме очистки нефтезагрязненной почвы сохранившимися в ней углеводородокисляющими микроорганизмами	65
ХРОНИКА Фролову Анатолию Александровичу — 90 лет К юбилею Щербака Ора Викторовича	70 70

На 1, 4-й страницах обложки — Индигирка. Ранняя зима
© Фотограф А.В. Томашев, 2015



PROSPECT & PROTECTION OF MINERAL RESOURCES

Contents

GEOLOGY & METHODICS OF PROSPECT & EXPLORATION OF DEPOSITS

Byhovskiy L.Z., Pikalova V.S. Mineral resources of rare metals of the North-West of Russia – the basis of creation of the redkometallny center of the industry of the country	3
Mezentseva A.E. Phase and structural research method of numerical models for ore objects aimed at the local forecast	7
Bergman I.A. The iron-siliceous formations of the early Precambrian and the problem of oxygen	14
Mitrofanov N.P. Innovation methodology for the search of granite profile deposits	20
Karakchiev V.V., Serebrennikova O.V. Geodynamic positions of a Triassic intermediate complex of a Southeast of Western Siberia oil-and-gas-bearing capacity	26
Elger Yu.C. On the problem of frontier coverslips quaternary glaciation within the Western Siberia and Kazakhstan	30
GEOPHYSICS	
Fomenko N.Ye., Kovalenko A.S. Present-day state of methods of surface geophysics at carrying out geological-prospecting works on hard fossil fuels	33
HYDROGEOLOGY & GEOLOGICAL ENGINEERING	
Manukyan V.A., Annenkov A.A., Glinskiy M.L., Svyatovets S.V. The evaluation of the penetrability of the modern tectonic faults (reduced zones of crustal weakness) in clays using the experimentally-filtering tests	39
TECHNIQUES & TECHNOLOGY	
Rogulina L.I., Kalazhokov H.H., Karamurзов B.S., Kalazhokov Z.H. Platinum group elements in technogeneus waste dumps of the Lermontovsky skarn- scheelite deposit (Primorye)	45
Khaynasova T.S., Levenets O.O. Bacterial-chemical leaching as environmentally friendly mode of sulphide cobalt-copper-nickel ore processing	49
MANAGEMENT & ECONOMICS	
Lopatko S.V., Makeev A.B. The influence of «Fukushima» factor on the ree market	54
Rossmann G.I., Bykhovskiy L.Z., Koroleva N.L. Improvement of methodological documents for the environmental assessment at the feasibility study in the reserve calculation of solid minerals	60
BOWELS PROTECTION & ECOLOGY	
Rogozina E.A., Morgunov P.A., Timergazina I.F., Shapiro A.I. On the issue of cleanup of oil contaminated soil with hydrocarbon-oxidizing microorganisms remaining in soil	65



УДК 546.65; 549.752/.753; 553.07

Лопатко С.В. (ООО «Коралайна Инжиниринг»),
Макеев А.Б. (ИГЕМ РАН)

ФАКТОР «ФУКУСИМЫ» НА РЫНКЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

*Приведены свойства 17 металлов, пригодных в качестве поглотителей тепловых нейтронов. Лучшими из них являются средние и тяжелые лантаноиды Dy, Er, Sm и Gd. Рассчитаны индексы возобновления полной активности и стоимость единицы в сопоставлении с 1 кг диспрозия. Показана роль аварии АЭС «Фукусима» на рост потребления четырех редкоземельных металлов в атомном машиностроении. Обоснована необходимость использования технологических подходов и рыночных механизмов к обеспечению редкоземельным сырьем отечественной промышленности и отказ от освоения карбонатитового месторождения Томтор в Якутии. **Ключевые слова:** поглотители тепловых нейтронов, Фукусима, редкоземельные металлы, апатит, эвдиалит, Ловозеро, Томтор.*

Lopatko S.V. (Coralina Engineering), Makeev A.B. (IGEM RAS)
THE INFLUENCE OF «FUKUSHIMA» FACTOR ON THE REE MARKET

*We demonstrate the properties of 17 metals suitable for use as absorbers of thermal neutrons; the best of them are medium and heavy lanthanides Sm, Gd, Dy and Er. There has been calculated the Indices of their full activity recovery and unit costs in comparison with 1 kg of dysprosium. We show the role of the "Fukushima" accident on the growth of four rare earth metals' consumption in atomic mechanical engineering. We prove the necessity of using technological approaches and market mechanisms to supply the domestic industry with rare earth raw materials and the abandoning of development of Tomtor carbonatite deposit in Yakutia. **Key words:** thermal neutron absorbers, Fukushima, rare earth metals, apatite, eudialyte, Lovozero, Tomtor.*

Крупные аварии в атомной энергетике, несомненно, оказывали влияние на рынок редкоземельных элементов, стимулировали рост цен и потребности в данном

виде сырья. Авария на АЭС в США была первой, которая вызвала многократный рост научных исследований по редкоземельной тематике.

Авария на Чернобыльской АЭС в 1986 г. привела к переоценке не только перспектив развития атомной энергетики в мире, но и потребовала увеличения производства первичной редкоземельной продукции в СССР.

В ходе работ по оценке последствий Чернобыльской АЭС в 1987 г. впервые была направлена служебная записка с обоснованием увеличения объема производства и расширения сфер применения редкоземельной продукции в отраслях ВПК и народном хозяйстве. В 1988 г. была сформирована отраслевая программа увеличения производства редкоземельных элементов на 30 тыс. т в год к 1995 г. в рамках предприятий Главка Минсредмаша на базе трех сырьевых источников — хибинского апатита, костного детрита и попутного извлечения при добыче урана месторождений Средней Азии и Казахстана. Производство иттрия и дефицитных лантаноидов средней и тяжелой групп из руд редкометалльного месторождения Кутесай в Киргизии планировалось поддерживать на стабильном уровне до 2005 г. Нужно отметить, что производство редкоземельной продукции в Минсредмаше осуществляли предприятия шести главных управлений. Изначально существовал и поощрялся различный подход, как к выбору сырьевых источников, так и к технологиям реализации отдельных этапов редкоземельного производства.

В рамках отраслевой программы были переданы технологические регламенты и оборудование с Прикаспийского горно-химического комбината на два других предприятия, перерабатывающих костный детрит месторождения Меловое, — это гидрометаллургические заводы в городах Лермонтов и Днепродзержинск. В 1992 г. они должны были выйти на производство 450 и 1400 т первичного концентрата оксидов РЗЭ соответственно. Добыча и переработка костного детрита месторождения Меловое в Казахстане была прекращена в 1997 г., а складские запасы урановых руд полностью переработаны к 2002 г. Спектр получаемого концентрата

та РЗЭ из этого вида сырья уникален, содержание средних и тяжелых лантаноидов превышало 60 %. В этот же период была прекращена добыча и переработка редкоземельных руд с высоким содержанием иттрия месторождения Кутесай в Киргизии.

В 1990 г. в течение двух месяцев была построена и введена в эксплуатацию первая очередь производства на одной из двух технологических веток Кирово-Чепецкого химкомбината мощностью 1200 т концентрата оксидов РЗЭ в год. Полностью объект был построен и сдан Государственной Комиссии 5 августа 1990 г. Это производство функционировало на протяжении почти 6 лет и произвело более 16,5 тыс. т оксидов РЗЭ преимущественно цериевой группы из хибинского апатитового концентрата. В связи с распадом СССР не была построена вторая очередь объекта в Кирово-Чепецке, производственные мощности по извлечению попутных РЗЭ на химических заводах гражданской отрасли в городах Россось, Дорогобуж и Великий Новгород. Это не позволило России увеличить попутное производство оксидов РЗЭ до 25 тыс. т в год при переработке хибинского апатитового концентрата по нитратной схеме. В связи с сокращением объема производства хибинского апатитового концентрата до 10 млн. т в год и направлением основного объема производимого фосфорного сырья на предприятия компании «ФОСАГРО» с сернокислотной схемой вскрытия потенциальные объемы попутного извлечения РЗЭ составляют в настоящее время не более 30–40 тыс. т в год (в 1990 г. 115–140 тыс. т).

В 1989 г. Минцветметом СССР были введены в строй мощности по комплексной переработки 24 тыс. т в год лопаритового концентрата Ловозерского ГОКа на Соликамском магниевом заводе хлорным способом с получением 8300 т оксидов РЗЭ в хлоридном плавне. Это единственное и крупнейшее предприятие в мире, реализовавшее в промышленных масштабах хлорный способ переработки радиоактивных титан-тантал-ниобатов с попутными РЗЭ. Лопаритовый концентрат содержит в основном редкие земли самой дешевой цериевой группы при достаточно высоком их содержании. Необходимость перевода половины мощностей Соликамского магниевого завода на переработку более качественного импортного сырья с высоким содержанием тантала, иттрия и дефицитных лантаноидов для специалистов атомной отрасли стала очевидной уже к 1995 г. Особую актуальность это приобрело сейчас в связи с монопольным положением Китая на мировом рынке иттрия и тяжелых лантаноидов. В полной мере это относится и к пентаксидам тантала и ниобия, производство которых осталось в Казахстане и Эстонии. Это ключевой действующий актив для обеспечения иттрием и дефицитными лантаноидами предприятий атомной отрасли и ВПК, а также для возвращения России на мировой рынок иттрия и РЗЭ.

Авария на АЭС «Фукусима» в Японии — это крупнейшая авария за всю историю развития атомной энергетики в мире. По масштабам разрушений, объемам поступления радионуклидов в окружающую среду и воздействию на население она превосходит аварию на Чернобыльской АЭС на 1–2 порядка. Этому способст-

вовали конструктивные особенности атомных реакторов компании «Вестингауз», а также абсолютный непрофессионализм действий японской управляющей компании. Уже до заседания Правительства России специалистам стало ясно, что мы имеем наихудший из всех возможных сценариев развития. В течение 18–24 ч активная зона всех действующих атомных реакторов была расплавлена, а выгруженное топливо четвертого набрало критическую температуру и создало все условия для теплового взрыва. Накопление водорода и последующие объемные взрывы с его участием разрушили ограждающие конструкции всех реакторов и обеспечили массовое поступление радионуклидов в окружающую среду.

Те меры, которые японские специалисты и их американские коллеги предприняли, свидетельствуют о том, что не все уроки Чернобыля они усвоили и выводов не сделали. Эмиссия радионуклидов с площадки АЭС «Фукусима» в окружающую среду будет максимальной в период 2014–2025 гг. Если эмиссия радионуклидов в воздух затрагивает в основном население Японии, то увеличение поступления экологически опасных стронция-90, цезия-137, трития, трансураниевых элементов и плутония в воды Тихого Океана — это серьезнейшая экологическая и продовольственная проблема для России, США, Китая, Южной Кореи и Канады. Поэтому не исключены варианты жесткого реагирования стран соседей на столь безобразное и безответственное поведение Правительства Японии.

Единственный урок Чернобыля, который Правительство Японии твердо усвоило, — это доведенная до абсолюта закрытость всей информации о реальном положении дел на аварийном объекте и отсутствие публикаций и мнения правозащитников и экологов ГРИН-ПИСа всех мастей и национальностей в национальной прессе. То есть минимизирована информационная «радиофобия», но осталась вполне реальной и весьма серьезной радиационная опасность. Радиационные риски для населения и лиц, проживающих в префектурах Японии в радиусе до 150 км от АЭС, существенны, и, что особенно важно, они возросли. В этих условиях правительственные органы России должны постоянно и в полном объеме с использованием любых доступных каналов иметь наиболее достоверную и полную информацию о радиационной обстановке не только на площадке аварийной АЭС и зоны отчуждения на территории Японии, но и по береговой линии и прибрежным водам региона. По-видимому, настало время смены представителя Японии на посту главы МАГАТЭ на представителя Китая или Южной Кореи с целью восстановления доверия мирового сообщества к данной организации.

Можно констатировать, что и часть нынешнего руководства Минатомом России страдает от некомпетентности и дилетантства, озабочено «спасением» предприятий несуществующей редкоземельной промышленности России и Киргизии. Любовь к якутскому гиганту Томтору может быть объяснена не только желанием поручить большими бюджетными средствами, но и растянуть решение проблем восстановления редкоземельной промышленности России на десятилетия. Но

Таблица 1
Металлы, поглощающие тепловые нейтроны в значимых объемах и их характеристики

№ п/п	Элемент	Порядковый номер	Атомная масса	Ядерная плотность, $\rho \times 10^{-22}$	Сечение поглощения тепловых нейтронов, $\sigma \times 10^{-22} \text{м}^2$	Период полураспада
1	B	5	10	14,8	3840	7 сут
2	Rh	45	102,91	7,3	156	44 с
3	Ag	47	107,87	5,9	63	253 сут
4	Cd	48	112,41	4,6	2450	43 сут
5	In	49	114,82	3,8	195	54 мин
6	Sm	62	150,35	3,1	5600	47 ч
7	Eu	63	151,96	3,1	4300	16 и 13,5 лет
8	Gd	64	157,25	3,0	46000	18 ч
9	Dy	66	162,50	3,2	950	2,3 ч
10	Er	68	167,28	3,3	173	7,5 ч
11	Tm	69	168,93	3,3	127	129 сут
12	Hf	72	178,49	4,4	105	46 сут
13	Ta	73	180,95	5,5	21	117 сут
14	Re	75	186,21	6,8	86	90 ч
15	Ir	77	192,22	7,1	440	19 ч
16	Au	79	196,97	197	99,6	2,7 сут
17	Hg	80	200,59	4,0	380	47 сут

Минатому нужно постоянно решать проблемы важнейших областей использования редкоземельных элементов: в системах регулирования реактивности ядерной зоны; поглотителей тепловых и быстрых нейтронов, биологической нейтронной защиты атомных реакторов любых конструктивных схем и поколений. Китайский путь решения данной проблемы при наличии в нашей стране колоссальных ресурсов РЗЭ и уникального производственного потенциала для России неприемлем.

Авария на АЭС «Фукусима» не оставила мировой атомной отрасли выбора. Дальнейшая эксплуатация действующих АЭС и, тем более, строительство новых объектов возможны только с широким использованием редкоземельных элементов. Для использования в атомных реакторах для поглощения тепловых нейтронов пригодны 17 металлов (табл. 1). Для понимания данной проблемы следует сравнить характеристики двух типов поглотителей — выгорающих, их всего два элемента — бор и редкоземельный гадолиний (табл. 2), и поглотителей нейтронов с выделением гамма-кванта — это пять редкоземельных металлов и десять других (табл. 3–4). В их числе два платиноида (родий и иридий), золото, серебро, рений, а также ртуть, индий, кадмий, гафний и тантал.

Промышленность США является крупнейшим мировым продуцентом всей номенклатуры борной продукции, включая и изотоп бор-10 высокой степени чистоты. Качество обогащенной (по изотопу бор-10) продукции очень высокое, степень обогащения достигает 99 % и выше. Данные по имеющимся производственным мощностям, номенклатуре выпускаемой борной продукции и накопленным резервам в США являются закрытой информацией. Бор самый дешевый из применяемых поглотителей тепловых нейтронов, но имеет ряд технологических особенностей, нивелирующих это достоинство. Это радиационная нестойкость в сплавах и бетоне,

выделение газообразных продуктов деления и возможность образования радиоактивного трития при повышенном потоке тепловых нейтронов. Срок службы борных элементов в ядерной зоне не превышает 1,5–2 лет, что усложняет конструкцию и эксплуатацию атомного реактора. Использование бора-10 в конструкциях современных реакторов следует минимизировать, а в аварийных ситуациях ограничить начальной фазой ликвидации.

Отличительной и важнейшей особенностью *двух изотопов гадолиния является гигантское сечение захвата тепловых нейтронов*, что позволяет моментально прекращать деление ядер или количественно регулировать параметры ядерной зоны атомного реактора (табл. 2). Поэтому он незаменим в системах аварийной защиты, в мобилизационных условиях, в сплавах на основе ванадия, титана и черных металлов, при хранении ОЯТ, предаварийных и аварийных ситуациях на реакторах любого типа. Все сплавы и соединения гадолиния после использования в атомной энергетике подлежат рецирку.

В связи с переходом гадолиния в стабильные четные изотопы и возможностью последующего возврата в другие сферы использования объемы его применения в атомной энергетике определяются не биржевыми ценами, а должны регулироваться государством.

Таблица 2
Сравнительная характеристика выгорающих поглотительных элементов

Основные технические и технологические параметры сравнения	Гадолиний	Бор
Содержание изотопов в природе, %	Gd-155 — 14,80	B-10 — 19,5
	Gd-157 — 15,68	B-11 — 80,5
Сечение захвата тепловых нейтронов	Gd-155 — 46 000	B-10 — 3 840
	Gd-157 — 150 000	
Обогащение по изотопу, %	Нет	B-10 — 90–99
Радиационная устойчивость	Устойчив	Нет
Использование в конструкции		
Сплавы черных металлов	До 30 %	До 3 %
Сплавы на основе титана	2–20 %	Нет
Радиационно-устойчивые стекла	До 32 %	35 %
С охлаждающей жидкостью	Да	Да
Продукты распада не поглощают нейтронов	Gd-158	Литий-7+
	Gd-156	
Продукты распада лития-7	—	Гелий, тритий (радиоактивен)
Наличие газообразных продуктов деления	Нет	Гелий
Возврат в производство	Полностью	Нет

Таблица 3
Сравнительная характеристика элементов поглотителей нейтронов с выделением гамма-кванта. Градация по основным техническим и технологическим параметрам

№ п/п	Драгметаллы		Прочие
I Распространенность в природе и мировое производство			
1.	Rh — редкий	6.	Cd — избыток производства
2.	Ir — редкий	7.	In — дефицит
3.	Au — 2 000 т/г	8.	Hf — избыток
4.	Ag — 16 000 т/г	9.	Ta — 4 500 т/г
5.	Re — очень редкий, 85 т/г	10.	Hg — избыток производства
II Стоимость в ценах мирового рынка, \$ США за 1 кг			
1.	Rh — 33 760	6.	Cd — 2,1
2.	Ir — 13 505	7.	In — 720
3.	Au — 40 733	8.	Hf — 610
4.	Ag — 650	9.	Ta — 420
5.	Re — 3 600	10.	Hg — 103
III Факторы, препятствующие использованию			
1.	Rh — сверхвысокая стоимость и дефицитность	6.	Cd — нет
2.	Ir — летучесть оксидов и дефицитность	7.	In — плавкость в сплавах с золотом и серебром
3.	Au — высокая стоимость	8.	Hf — нет
4.	Ag — нет	9.	Ta — дефицит
5.	Re — летучесть семи-оксида, стоимость и дефицитность	10.	Hg — высокая токсичность и летучесть паров и металла
IV Сечение поглощения тепловых нейтронов			
1.	Rh — 156	6.	Cd — 2 450
2.	Ir — 440	7.	In — 195
3.	Au — 99	8.	Hf — 105
4.	Ag — 63	9.	Ta — 21
5.	Re — 86	10.	Hg — 380
V Период полураспада			
1.	Rh — 44 с	6.	Cd — 43 сут
2.	Ir — 19 ч	7.	In — 54 мин
3.	Au — 2,7 сут	8.	Hf — 46 сут
4.	Ag — 253 сут	9.	Ta — 117 сут
5.	Re — 90 ч	10.	Hg — 47 сут
VI Индекс возобновления полной активности (Dy 23 ч — единица)			
1.	Rh — 0,0053	6.	Cd — 435
2.	Ir — 8,3	7.	In — 0,4
3.	Au — 28	8.	Hf — 470
4.	Ag — 2 630	9.	Ta — 1 280
5.	Re — 39,13	10.	Hg — 490
VII Стоимость одной единицы Индекса возобновления полной активности \$ США за 1 кг (Dy — 380)			
1.	Rh — 179	6.	Cd — 913,5
2.	Ir — 112 100	7.	In — 288
3.	Au — 1 140 524	8.	Hf — 286 700
4.	Ag — 1 709 500	9.	Ta — 537 600
5.	Re — 140 870	10.	Hg — 50 470

Для использования в качестве мобилизационного средства на АЭС любого типа может найти применение сплав самарий-гадолиний с примесями РЗЭ (в сумме по двум элементам не менее 75 %), а также лигатуры этого сплава с гафнием.

Нашли промышленное применение сплавы серебра с индием и кадмием и в последние годы — сплавы гафния с РЗЭ. Можно прогнозировать, что в ряде стран (Китай, Тайвань, Япония и США) в качестве вынужденной меры могут использовать в ядерной зоне реакторов АЭС родий и иридий в виде сплавов с индием и РЗЭ. Перспективы применения тантала достаточно не ясны и возможны только в качестве лигатурного сплава с РЗЭ.

В промышленности атомного машиностроения три редкоземельных металла — диспрозий, эрбий и самарий, вместе с гафнием и рением будут использоваться не только в органах регулирования реактивности ядерной зоны и поглотителей тепловых нейтронов, но и для создания биологической нейтронной защиты. Масштабы их применения в этой сфере в ближайшие 25 лет должны увеличиться, как минимум, на 2–3 порядка. С учетом этого фактора должны быть пересмотрены стратегия и приоритеты развития редкоземельной промышленности России на современном этапе.

Применение европия в аварийных ситуациях или при захоронении высокоактивных отходов с экономической и экологической точек зрения не имеет смысла. Это в полной мере касается и атомного машиностроения. Целесообразно все ресурсы редкоземельных металлов европия и экзотического тулия использовать в гражданских секторах экономики.

Потребности атомной отрасли России в гадолинии, диспрозии, эрбии и самарии останутся высокими на протяжении ближайших 50 лет. Связано это с абсолютным превосходством данных редкоземельных элементов по индексу возобновления полной активности и стоимости. Эти редкоземельные металлы имеют ключевое значение для безопасного развития атомной энергетики уран-плутониевого цикла. Они будут активно закупаться и накапливаться государственными резервными системами ведущих стран мира.

Исключительно фактором «Фукусим» может быть объяснен рост цен в марте-апреле 2011 г. на мировом рынке редкоземельных элементов и особенно гафния-металла чистотой 95–99 % до 3540 \$ США за 1 кг, цена 2010 г. 220–650 \$ США (табл. 5). Не вызвало сомнений, что в августе-сентябре 2011 г. произойдет вторая коррекция мировых цен на диспрозий, эрбий, самарий, гадолиний и европий, биржевые цены на эрбий и европий к октябрю 2011 г. превысят 2000 \$ за 1 кг металла и оксида; гадолиния и самария войдут в диапазон 300–500, а диспрозия 1500–2000 \$ США за 1 кг металла и оксидов. Так оно и произошло. Особо следует в этой связи обратить внимание на адекватность и своевременность мер, предпринятых

Таблица 4

Сравнительная характеристика РЗЭ поглотителей нейтронов с выделением гамма-кванта. Градация по основным техническим и технологическим параметрам

Элемент	Распространенность в природе и доступность	Стоимость в ценах мирового рынка, \$ США	Индекс стоимости единиц (1 кг диспрозия)	Период полураспада	Индекс возобновления полной активности (Dy 23 ч — единица)
Sm	Доступен	150	204,3	47 ч	20,43
Eu	Доступен	800	4 672 000	16 и 13,5 лет	5 840
Dy	Доступен	380	380	2,3 ч	1
Er	Доступен, дефицитен	90	293,4	7,5 ч	3,26
Tm	Очень малые объемы пр-ва	1 600	2 096 000	129 сут	1 310

Примечание. Индекс диспрозия по отношению к сплаву Ag80 In15 Cd5 — 1:391.

Таблица 5

Изменение мировых цен на основные конструкционные металлы-поглотители тепловых нейтронов и сырье для их производства в марте-мае 2011 г.

№ п/п	Наименование металлов или минерального сырья	Цена мирового рынка, \$ США			Индекс роста цен, %
		на 1.01 2011 г.	на 01.03 2011 г.	на 12.05 2011 г.	
1	Первичный концентрат РЗЭ, 43–45 % оксидов	35	40	80	230
2	Гадолиний, металл	50	50	180	360
	Gd ₂ O ₃	45	60	160	355
3	Самарий, металл	50	70	150	300
	Sm ₂ O ₃	35	60	120	340
4	Диспрозий, металл	400	500	800	200
	Dy ₂ O ₃	200	380	700	350
5	Эрбий, металл ¹	800	800	1 600	200
	Er ₂ O ₃	600	750	1 500	250
6	Европий, металл	800	800	1 400	175
	Eu ₂ O ₃	650	650	1 200	185
7	Цирконовый концентрат ² Синджу, 18 % HfO ₂ (тонна)	4 300	5 000	300 000	60 000
8	Гафний, металл 95 %	450	450	3 520	780
	Hf чистотой 99 %	800	800	4 100	515

Примечания: 1 — открытые торги РЗЭ на бирже в Китае не ведутся, экспортные квоты на Японию не выделены, потребление и производство эрбия и оксида эрбия находится под жестким государственным контролем; 2 — с апреля 2011 г. экспорт и свободное обращение концентрата Синджу на рынке запрещены, размер биржевого лота гафния-металла уменьшен до 50 кг.

Правительством Китая, по защите национальных позиций и сохранению государственного контроля над редкоземельной промышленностью страны. Необходимо разделить озабоченность Правительства Китая по экологическим аспектам переработки ряда месторождений ионных руд щелочных массивов, прекращению нелегальных производств и теневого оборота редкоземельного сырья. Есть понимание о парадоксальности современной рыночной ситуации, когда одна страна на 97 % обеспечивает весь мир первичным редкоземельным сырьем. Посадка мировой промышленности на китайскую экспортную квоту в 30–35 тыс. т оксидов и металлов РЗЭ — это приглашение России занять достойное место в мировой добыче и торговле редкоземельным сырьем и продукцией на их основе.

Опасения относительно возможной нехватки поставок дешевого редкоземельного сырья из Китая, деятельность китайских экспортеров редких земель в предшествующие годы стали вызывать тревогу у западных потребителей. Китай начал контролировать глобальную редкоземельную промышленность в конце 1990-х годов, но в настоящее время правительство КНР предполагает ограничить или полностью запретить экспорт некоторых видов редких земель. Это вызвало резкий подъем деятельности в сфере геологоразведочных работ в других регионах мира, направленных на поиск и исследование новых месторождений редкоземельного сырья.

Исходя из этих предпосылок, Правительство РФ взяло курс на разработку специальной Программы и создание условий для ускоренного развития редкоземельно-редкометаллической отрасли в стране и вовлечение в переработку наиболее подготовленных для этого месторождений. К сожалению, это чисто политический ситуационный подход, не отвечающий национальным интересам России и рыночным реалиям. Ошибочно ориентироваться при принятии Программы на анализ только месторождений редких земель Государственного баланса России. Проблема получения редких земель имеет два аспекта — геологический и технологический. Технологический фактор имеет ключевое значение для получения иттрия, средних и тяжелых лантаноидов не только из минералов циркония, тантал-ниобатов и флюорита, но и метамиктных фаз в том числе. Из-за нерешенности технологических проблем только за последние 20 лет потеряно при переработке хибинского апатитового концентрата свыше 2,5 млн. т оксидов легких РЗЭ, учтенных Государственным балансом России.

Уникальность карбонатитового месторождения Томтор, расположенного на севере Республики Якутии, с геологической точки зрения, сомнений не вызывает [5]. Но по содержаниям РЗЭ в рудах, спектру РЗЭ и технологичности руд с высокой радиоактивностью это рядовой объект, а с экономической точки зрения его следует вовлекать в эксплуатацию нашим потомкам только через двести лет.

К отрицательным факторам освоения месторождения Томтор относятся: суровый климат, вечная мерзлота, мощность пород вскрыши 6–190 м, сезонность ра-

боты ГОКа, высокая льдистость и влажность руд. Высокая дисперсность руд — 20 мкм, и изоморфный характер распределения полезных компонентов в силико-алюмо-фосфатах не позволяют использовать большинство методов обогащения и вынуждают сразу подвергать всю руду гидрометаллургическому переделу по чрезвычайно сложной, многоэтапной и экологически опасной схеме. Руды месторождения заметно радиоактивны, это требует специальных методов защиты персонала. Спектр редких земель месторождения Томтор преимущественно цериевый с несколько повышенным содержанием европия и рядовым — иттрия. Как источник дефицитных редких земель и иттрия это мелкий объект. Удаленность от центров переработки, необходимость транспорта руды влажностью 20–25 % с перегрузом через порты Северного морского пути на расстояние до 7 тыс. км еще больше ухудшают экономику проекта.

Инфраструктура района месторождения не развита, ее создание потребует гигантских вложений. Месторождение не обеспечено энерго- и трудовыми ресурсами и технологически не подготовлено к освоению. Все работы по проекту «Томтор», по-нашему мнению, подлежат закрытию.

Анализ минерально-сырьевой базы РФ показывает целесообразность освоения в ближайшие два года только месторождений редкоземельно-стронциевого апатита и эвдиалита ряда участков Ловозерского плутона Кольского п-ова [1, 4, 6]. Район с развитой инфраструктурой позволяет быстро восстановить производственные мощности Ловозерского ГОКа. При получении на объектах первой очереди 1,2 млн. т редкоземельно-стронциевого апатитового концентрата переработка должна производиться на простаивающем по причине отсутствия концентрата апатита Кирово-Чепецком химическом комбинате компании «Уралхим» с нитратной схемой вскрытия. Попутно в больших количествах могут производиться сульфаты стронция и бария, которые могут быть использованы в качестве утяжелителей вместе с бентонитом в буровых растворах (нефтеразведка), а собственно Sr для легирования сталей и производства морозоустойчивых рельсов для Полярных областей России [2]. Вся экономика и рентабельность проекта базируются на возможности переработки и получения попутно 85 тыс. т первичного редкоземельного концентрата. Технология получения оксидов редких земель была опробована на Кирово-Чепецком химическом комбинате в конце 1980-х годов. Подобное производство (цеха) можно ввести в строй в течение полугода, используя готовые технологические модули и сорбенты, производимые рядом отечественных и зарубежных фирм. Такое производство обеспечит все потребности России в легких РЗЭ цериевой группы и позволит начать экспорт на мировой рынок ферроцерия, мишметалла и полировальных порошков, а также первичного концентрата РЗЭ в Китай в значимых объемах.

Практически с нуля необходимо создать в России производственные мощности по переработке по схеме катионного замещения 1–1,5 млн. т в год концентрата эвдиалита с получением в качестве отхода щелочного эвдиалита для нужд керамической промышленности. Уникальный спектр РЗЭ в эвдиалите позволит полно-

стью обеспечить внутренний спрос на иттрий, лютеций, диспрозий, эрбий, самарий и гадолиний, а также ряд других редкоземельных элементов и наладить их экспорт. В отличие от проектов месторождений карбонатитового генезиса ресурсы эвдиалита Ловозерского плутона превышают 10 млрд. т, а высокое содержание иттрия, средних и тяжелых лантаноидов в сочетании с низкой радиоактивностью обеспечивают приемлемую экологию и высокую рентабельность.

Основное внимание необходимо уделить в условиях рыночной экономики технологическим проектам, связанным с извлечением высоколиквидных тяжелых лантаноидов и иттрия из отечественного и импортного циркониевого сырья. Россия является крупнейшим мировым производителем и поставщиком первичного концентрата бадделеита в Норвегию и Японию по бросовым ценам [4]. Это крупнейший, независимый от Китая, источник лютеция, диспрозия, эрбия и иттрия для экономик США и Японии. Стоимость только попутного лютеция и диспрозия в 10 раз и более превышает экспортную выручку от продаж концентратов. Необходимо или пересмотреть формулу ценообразования на экспортируемые частной компанией концентраты бадделеита, или наладить их комплексную переработку в России на ФГУП «Чепецкий механический завод».

Одним из потенциальных источников редких и редкоземельных элементов являются попутные их концентрации в титан-циркониевых россыпных месторождениях России. Они поставлены на учет в ГКЗ, но по разным причинам не обрабатываются 15 таких россыпных месторождений. В стадии доизучения находится известное с 1960-х годов крупное Пижемское титановое месторождение [3] в ильменит-лейкоксен-кварцевых песчаниках Вольско-Вымской гряды (Средний Тиман). Пилотные технологические исследования переработки руд Пижемского месторождения показали возможность извлечения попутных редкоземельно-редкометалльных минералов — циркона, монацита, ксенотима и колумбита, из лейкоксен-ильменитовых концентратов и руд. Обращает на себя внимание высокое содержание диспрозия и эрбия в спектре РЗЭ полученных концентратов.

Проведенный краткий обзор позволяет на наш взгляд помочь участникам российского рынка выбрать оптимальные экономичные подходы к решению весьма сложной проблемы — восстановлению редкоземельной промышленности в стране. Следует учитывать в максимальной степени потребности наиболее динамичной отрасли России — атомной промышленности и энергетики, в гадолинии, самарии, диспрозии и эрбии, а также отраслей ВПК в лютеции. Необходимо оставить иллюзии о важности приоритетного освоения гигантского карбонатитового месторождения Томтор с целью производства редкоземельных металлов и, наоборот, ускоренными темпами осваивать месторождения Кольского региона.

ЛИТЕРАТУРА

1. Когарко Л.Н., Лазуткина Л.Н., Кригман Л.Д. Условия концентрирования циркония в магматических процессах. — М.: Наука, 1988.
2. Левченко Е.Н., Тигунов Л.П., Быховский Л.З. Перспективы освоения минерально-сырьевой базы стронция России и новые области использования // Разведка и охрана недр. — 2011. — № 6. — С. 80–86.

3. *Макеев А.Б., Дудар В.А., Самарова Г.С. и др.* Пижемское титановое месторождение (Республика Коми), аспекты геологического строения и освоения // Рудник будущего. — 2012. — № 6. — С. 16–24.
4. *Мелентьев Г.Б.* Редкие металлы — инновационный ресурс России // Редкие земли. — 2014. — № 2. — С. 14–23.
5. *Минерогения* платформенного магматизма (траппы, карбонатиты, кимберлиты) / С.В. Белов, А.В. Лапин, А.В. Толстов, А.А. Фролов; науч. ред. С.В. Белов. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008.
6. *Семенов Е.И.* Оруденение и минерализация редких земель, тория и урана. — М.: Геос, 2001.

© Лопатко С.В., Макеев А.Б., 2015

Лопатко Сергей Владимирович // belikova@cetco.ru
Макеев Александр Борисович // abmakeev@mail.ru