

УДК 553.465+493 (571.51)

Чуктуконское месторождение ниобий-редкоземельных руд – приоритетный объект для модернизации редкометалльной промышленности России

В.Г. Ломаев^а, С.С. Сердюк^{б*}

^а ООО «Геокомп»,

Россия 660049, Красноярск, ул. К. Маркса, 62

^б Сибирский федеральный университет,
Россия 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79¹

Received 5.04.2011, received in revised form 12.04.2011, accepted 19.04.2011

Чуктуконское месторождение ниобий-редкоземельных руд представляет собой объект минерального сырья, способный по своим качественным и количественным параметрам стать ключевым объектом модернизации редкометалльной промышленности России. Месторождение принадлежит к рудноформационному типу редкометалльных кор выветривания карбонатитов. Рудная зона месторождения представляет собой мощную плащеобразную залежь протяженностью 3,5 км при ширине от 800 до 1400 м и мощности до 200 м. Выделены два типа руд: ниобиевые (по бортовому содержанию Nb_2O_5 – 0,8 %) и редкоземельные (по бортовому содержанию РЗМ – 3,0 %). Минеральный состав руд: гетит, гидрогетит, гематит, псиломелан, пиролюзит, бариопирохлор, стронциопирохлор, цериопирохлор, пирохлор, флоренсит, монацит, церианит. Наиболее приемлема пирогидрометаллургическая схема переработки руд с получением на разных стадиях ниобиевой, редкоземельной, марганцевой, фосфорной, ванадиевой, железной продукции. Запасы редкоземельных руд, утвержденные ГКЗ РФ (2007 г.) составляют: 6639 тыс. т (кат. С₂), пентоксида ниобия (тыс. т.): 39,8 (содержание 0,6 %), РЗО – 486 тыс. т (содержание 7,3 %).

Конкурентными преимуществами создания центра редкометалльной промышленности именно в Красноярском крае является наличие стратегической базы сырья для высоких технологий – месторождений ниобия и редкоземельных металлов, научной и производственной базы по геологическому и технологическому изучению и сопровождению (СФУ, ИХХТ СО РАН, геологоразведочные компании, г. Красноярск), производственной базы по переработке слаборадиоактивных концентратов (Горно-химический комбинат, г. Железногорск). Расчеты технико-экономических показателей освоения Чуктуконского месторождения показывают высокую эффективность проекта с горизонтом оценки 10 лет. Основные ТЭП проекта для ниобиевых (редкоземельных) руд: ЧДД 33 (22) млрд руб., бюджетная эффективность 35(25) млрд руб., объем инвестиций 91(65) млрд руб. Реализация Чуктуконского мегапроекта позволит России модернизировать редкометалльную промышленность и занять ведущее место в мировом рынке редких металлов при высокой эффективности производства.

* Corresponding author E-mail address: sssngpe@mail.ru

¹ © Siberian Federal University. All rights reserved

Ключевые слова: Чуктуконское месторождение, геология, ниобий-редкоземельные руды, запасы, ресурсы, технико-экономические показатели освоения, модернизация, редкометалльная промышленность.

Обоснование проблемы

В течение ближайших десятилетий Россия, и Сибирь в ее составе, должна стать страной, благополучие которой обеспечивается не столько сырьевыми, сколько интеллектуальными ресурсами, экспортом новейших технологий и продуктов инновационной деятельности, «умной» экономикой. Редкоземельные элементы и ниобий играют ключевую роль в производстве материалов для сверхпроводников, постоянных магнитов, лазеров, аккумуляторных батарей, катализаторов для нефтеперерабатывающей и автомобильной промышленности, используются в высокотехнологичных сферах электроники, информационных технологиях, металлургии.

Наряду с развитием традиционной экономики предстоит выбор объектов, обеспечивающих создание новых рабочих мест, новых направлений в промышленности с высокой экономической эффективностью. Нам нужны инвестиции и технологии стран Европы, Америки, Азии. Этим странам необходимы, в свою очередь, возможности России.

Мировое производство редкоземельных металлов (РЗМ) и ниобия уже превысило 4 млрд долл., а ежегодные темпы прироста, как объемные, так и ценовые, за 2004-2008 гг. составили более 10 % .

Бразилия добывает и выпускает пен-оксид ниобия из руд месторождений Араша и Калалао (более 80 % мирового производства).. Баюнь-Обо и ряд мелких месторождений со специфическими РЗМ продуцирует 100 тыс. т (более 90 % всего ряда редкоземельных металлов от лантана до иттрия) [1-4].

В советское время РЗМ и ниобий в достатке производились в нашей стране. Редкоземельная подотрасль цветной металлургии к распаду СССР была расщеплена по 20 объектам в составе пяти республик. 247 т ниобия в пироклоровом концентрате поставлял Вишневогорский ГОК, 744 т оксидов РЗМ продуцировалось из руд Кутессайского и Мелового месторождений. На Ловозерском месторождении получали 25,4 тыс. т лопаритового концентрата, содержащего 3100 т оксида ниобия и 9500 т оксидов РЗМ. Ненадежная дотационная сырьевая база, отделенная от переработчиков огромными пространствами, при содержаниях по ниобию в 10, а по РЗМ в 5 раз более низких, чем на основных зарубежных предприятиях, не позволила сохранить производство редких металлов, учитывая, что с распадом страны распались и все хозяйственные связи.

Заккрытие предприятий, потребляющих редкие металлы и работающих на высокие технологии, в частности на ВПК, стало причиной несанкционированного экспорта редких металлов. В настоящее время рынок редких металлов России невелик и сложен по структуре. Крупные потребители малочисленны, а мелкие предпочитают удовлетворять свои потребности за счет импорта. С 1991 г. с техническими сложностями в горном хозяйстве на Ловозерском месторождении резко уменьшилось производство, а Вишневогорское месторождение полностью истощено и выработано. Меловое месторождение в Казахстане отработано. Таким образом, производство оксидов РЗМ и ниобия в концентратах в России составляет всего 3 тыс. т при мировом уровне, соответственно, 124 и 90 тыс. т (Mineral Commodity Summaries, 2010).

Мировые поставки РЗМ практически полностью контролируются Китаем, и компаниям, нуждающимся в поставках этого сырья, не остается ничего другого, как переводить туда свои высокотехнологичные и наукоемкие производства. Следовательно, Китай со временем будет контролировать и передовые технологии будущего. Уже сейчас успехи этой страны по многим направлениям обеспечены бурным ростом потребления РЗМ (около 50 тыс. т ежегодно против 6,7 тыс. т в 1990 г.). Китайский экспорт РЗМ последние 3 года сокращается, экспортные квоты урезаны на 34 % в первом полугодии 2009 г., в 2010 г. сообщается об их уменьшении еще на 30 %.

Другой монополист, развивающаяся высокими темпами Бразилия, распространяет свою ниобиевую экспансию на остальной мир.

В течение последних 20 лет образовался круг устойчивых производителей и потребителей РЗМ (Япония, КНР, страны АТР) и ниобия (США, Япония, Бразилия, КНР). Среди успешных продуцентов и оптовых потребителей этих металлов России нет. Так что мировой рынок ниобия и РЗМ все более приобретает характер двусторонней олигополии, когда производители и потребители пытаются контролировать рынок. Проникновение на этот рынок крайне затруднено и может состояться только при наличии крупного месторождения с высококачественным конкурентным сырьем.

Круг таких месторождений, обязательно крупных или уникальных, известен и может быть ранжирован по двум ориентирам: по ниобию – Араша в Бразилии, по редкоземельным металлам – Баюнь-Обо в Китае. Стоимость извлекаемого ниобия из 1 т руды месторождения Араша оценивается в 17 тыс. руб., стоимость 1 т руды месторождения Баюнь-Обо по извлекаемым металлам (РЗМ, железо, ниобий) – в 22 тыс. руб.

Рост мирового и внутреннего потребления редких и редкоземельных металлов и невозможность наращивания объемов их добычи на эксплуатируемых объектах делают конкурентоспособным создание в России новых импортозамещающих центров по их добыче и переработке.

По критерию экономической эффективности в России всего два месторождения редких металлов могут составить конкуренцию мировым монополистам – Томторское и Чуктуконское. Стоимость извлекаемых металлов из 1 т руды этих месторождений составляет 60 и 20-25 тыс. руб. соответственно. Освоение Томторского месторождения, расположенного за полярным кругом на северо-западе Якутии в 400 км от трассы Севморпути и в 1500 км от железной дороги, в ближайшее время проблематично. Поэтому единственным месторождением шаговой доступности является Чуктуконское. В остальных ниобиевых и ниобийсодержащих месторождениях стоимость извлекаемых металлов из 1 т руды оценивается в 5 – 8 тыс. руб. Это Восточная рудная зона дисперсных руд Татарского месторождения в Красноярском крае, Белозиминское ниобиевое месторождение в Иркутской области, Катугинское месторождение РЗМ с ниобием и танталом в Забайкальском крае и эксплуатируемое Ловозерское месторождение в Мурманской области. При фактической себестоимости переработки 1 т руды до конечного продукта от 6 до 10 тыс. руб. эти месторождения не обеспечат даже нормативной прибыли, а инвестиции могут и не окупиться.

Район Чуктуконского ниобий-редкоземельного месторождения (Красноярский край, Богучанский район; координаты центра 59°27' с.ш., 99°54' в.д.) расположен в 100 км к северу от Богучанской ГЭС. Он вошел в стадию освоения по Федеральной целевой программе освоения

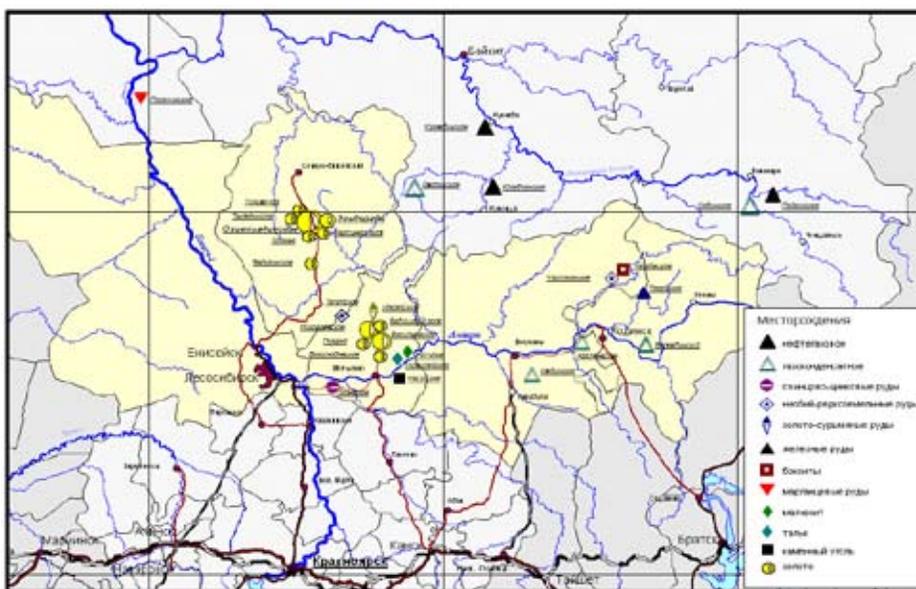


Рис. 1. Обзорная карта района Чуктуконского месторождения

Нижнего Приангарья (Постановление Правительства РФ № 203 от 22.02.1997 г). В этом регионе оцениваемая ресурсная база нефти и конденсата – 570 млн т, газа – 1,1 трлн м³. В 14 км к северу от Чуктуконского объекта находится месторождение бокситов «Центральное» (Чадобецкая группа) с утвержденными запасами 41,2 млн т и два месторождения меньших размеров («Ибджибдек» и «Пуня»). На правом берегу р. Ангары в 100-150 км известна Приангарская группа бокситовых месторождений, в 200 км к западу от ГЭС – Татарская группа бокситовых месторождений. Потенциальная ресурсная база бокситов может составить 300 млн т. (рис. 1). Перспективы дальнейшего развития Нижнего Приангарья связаны, прежде всего, с освоением природно-ресурсного потенциала региона при ликвидации двух основных “узких” мест в развитии инфраструктуры – дефицита электроэнергии и нехватки дорог.

Конкурентными преимуществами создания центра редкометалльной промышленности именно в Красноярском крае является наличие стратегической базы сырья для высоких технологий – месторождений ниобия и редкоземельных металлов, научной и производственной базы по геологическому и технологическому изучению и сопровождению (СФУ, ИХХТ СО РАН, геологоразведочные компании, г. Красноярск), производственной базы по переработке слабо-радиоактивных концентратов (Горно-химический комбинат, г. Железногорск). Создание такого центра позволит вовлечь в переработку не только ресурсы ниобия и редких земель Приангарья, но и концентраты Томторского месторождения и Карасугского месторождения в Республике Тыва и уйти от импорта редкоземельных элементов [5-6].

Геологическое строение Чадобецкого рудного района

Чадобецкий рудный район (60x40 км), включающий Чуктуконское месторождение, находится на южной оконечности Сибирской платформы (рис. 2). В тектоническом отношении он приурочен к крупной положительной структуре платформы – Чадобецкому куполовидному

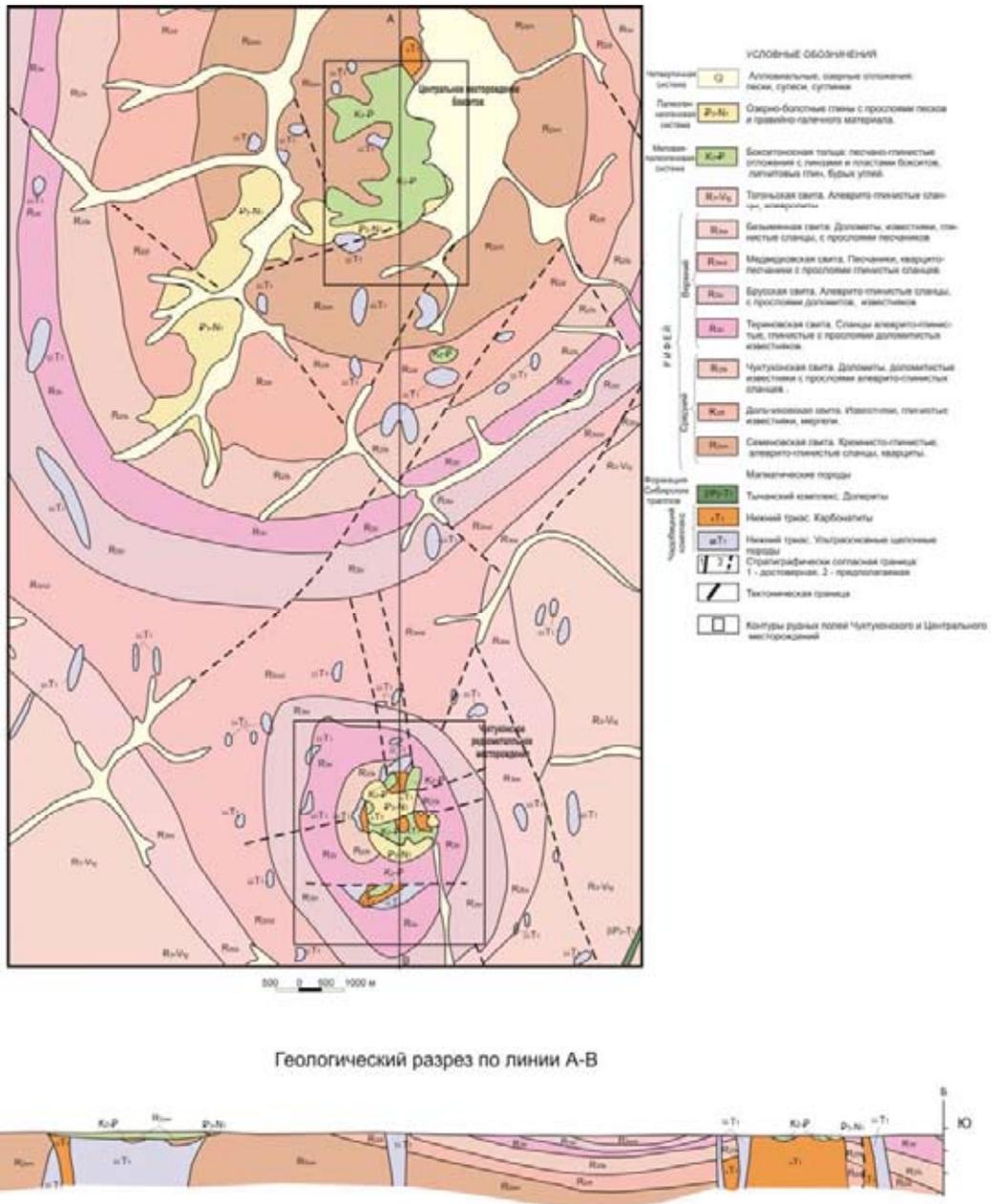


Рис. 2. Обзорная геологическая карта района Чадобецкого поднятия

поднятию, ядро которого сложено образованиями рифейского структурного этажа. В строении свода этой структуры принимают участие смятые в крутые складки карбонатные и терригенные породы рифея (семеновская, дольчиковская, чуктуконская, териновская, брусковская, медведковская, безымянная и тогоньская свиты), а относительно пологие крылья сложены нижнекембрийскими карбонатными и верхнекембрийскими терригенными образованиями и породами карбона, слагающими венд-среднепалеозойский структурный этаж, формирующий склоны поднятия с углами падения пород 10-15°.

Мезозойско-кайнозойский структурный этаж сложен бокситоносной толщей песчано-глинистых отложений с линзами и пластами бокситов, лигнитов, бурых углей (мел-палеоген) и покровом терригенных образований (палеоген-неоген, четверть).

Интрузивные образования района представлены силлами и дайками долеритов и габбро-долеритов тычанского (пермь-триас), карбонатитами и ультраосновными щелочными породами чадобецкого (нижний триас) комплексов. Щелочные ультраосновные породы залегают в форме штокообразных, силло- и дайкообразных тел.

Чадобецкое поднятие осложнено двумя локальными куполами: Чуктуконским (южным) и Териновским (северным), которые разделены Брусской синклиналью. Чадобецкая структура представляет собой тектоническое поднятие, инъецированное крупным массивом щелочно-ультраосновного магматического состава, расположенным по данным региональных профильных сейсмо- и электроразведочных работ, на глубине 3-4 км. Предполагается, что магнитоактивное тело, обуславливающее изометричную положительную магнитную аномалию над Чадобецким поднятием, залегает на глубине 3,5 км, имеет форму купола радиусом 35-40 км.

В рудном поле Чуктуконского месторождения выявлено несколько магматогенных структур, четко прослеживающихся в гравитационном и магнитном полях. В плане они имеют форму, близкую к изометричной. Сложены они телами карбонатитов и щелочных пикритов, рассматриваемых как предполагаемые апофизы глубинного щелочного ультраосновного интрузива. По гравимагнитным и сейсморазведочным данным мощность тел колеблется от первых сотен до 500 м и более.

В границах выделенных магматогенных структур прослеживаются интенсивные радиоактивные аномалии, фиксирующие рудные тела ниобиевой и редкоземельной минерализации. Радиоактивные аномалии совпадают с геохимическими аномалиями высоких содержаний ниобия.

Геология Чуктуконского ниобий-редкоземельного месторождения

Чуктуконское месторождение приурочено к одноименному куполу Чадобецкого поднятия (см. рис. 2). Месторождение принадлежит к рудноформационному типу редкометалльных кор выветривания карбонатитов, ассоциирующих с малыми телами щелочных ультраосновных пород. Тип руд – тонкодисперсные пироклор-монацитовые руды в латеритных корах выветривания. Оно было открыто в 1959 г. геологами Богучанской аэрогеофизической партии Н.Н. Дашкевичем и Г.С. Стародубовым металлометрической съемкой при проверке радиометрических аномалий.

Общие затраты на изучение месторождения составили 140 млн руб., в том числе только 10 % потрачено на технологические исследования. На месторождении пробурено 22 тыс. м скважин поисково-оценочного этапа, в т.ч. 10 тыс. м исследовано на ниобий. Наибольший вклад в изучение месторождения внесли В.С. Власов, Ю.Д. Сорокин, В.А. и О.В. Зоновы, Ю.А. Канцдалов (Ангарская ГРЭ), Н.С. Барсукова, Л.В. Чистов (Гиредмет), А.В. Лапин (ИМГРЭ). В 1999-2006 гг. исследованием месторождения занимались В.Г. и Н.В. Ломаевы, С.В. Цыкина, С.С. Сердюк, В.Г. Сибгатулин (КНИИГиМС), В.В. и С.В. Ломаевы (ООО «Прикладная геология», ООО «Геокомп»), В.И. Витязь (ГЭ №3), В.И. Кузьмин, О.Г. Парфенов и Г.Л. Пашков (ИХХТ СО РАН), Л.А. Бульонков, С.В. Мамонов (Горно-химический комбинат).

Для сравнения можно отметить, что на геологоразведочные работы Томторского месторождения затрачено более 1,5 млрд руб.

В 1993-1994 гг. на пробе руды МТП-93, отобранной Институтом химии и химической технологии (ИХХТ СО РАН, г. Красноярск), были проведены опыты химического обогащения руд при их вскрытии и выводе балластных продуктов из гидрометаллургического процесса. Результаты опытов с использованием методики переработки руды Томторского месторождения оказались успешными. Укрупненный экономический расчет, выполненный КО ВНИИПИЭТ, утвердил исследователей в мысли о необходимости геолого-экономической оценки Чуктуконского месторождения.

В геологическом строении Чуктуконского месторождения принимают участие карбонатно-терригенные слабо метаморфизованные отложения верхнепротерозойского возраста, прорванные интрузивными породами чадобецкого комплекса и перекрытые рыхлыми образованиями мел-палеоген-неогенового и четвертичного возраста.

Стратиграфия. В пределах месторождения скважинами колонкового бурения вскрыты отложения чуктуконской, териновской, брусской, медведковской свит рифея. Абсолютный возраст пород, определенный по глаукониту калий-аргоновым методом, составляет 1290 – 1250 млн лет.

Отложения чуктуконской свиты ($R_2 \text{ \check{c}k}$) слагают сводовую часть брахиантиклинали (вершина руч. Чуктукон). Они представлены доломитами и доломитистыми известняками с невыдержанными прослоями и линзами глинистых, алевроито-глинистых и кремнистых сланцев. Доломиты имеют массивную, реже брекчиевидную, неяснослоистую текстуру, мелко- и тонкозернистую структуру, темно-серую, зеленовато-серую окраску. Мощность свиты 450-500 м.

Териновская свита ($R_3 \text{ tr}$) представлена глинистыми, реже алевроито-глинистыми сланцами характерного бледного серовато-зеленого цвета с прослоями серых и доломитистых известняков. Породы свиты в виде полосы (400-700 м) окаймляют и согласно залегают на отложениях чуктуконской свиты. Мощность свиты 180-200 м.

Породы брусской свиты ($R_3 \text{ br}$) образуют полосу шириной 800-900 м, окаймляющую поле распространения териновской свиты, представляют собой толщу ритмичнослоистых алевроито-глинистых с прослоями глинистых сланцев, алевролитов, песчаников и редких линзовидных тел доломитов и сидеритов. Мощность свиты 100-300 м.

Породы медведковской свиты ($R_3 \text{ md}$) окаймляют отложения брусской свиты и выходят на поверхность в северо-восточной и юго-западной частях участка. В составе свиты резко преобладают песчаники, кварцитовидные песчаники светло-серого, серого цвета. Мощность свиты 100-150 м.

Общая мощность охарактеризованных рифейских отложений 830 – 1150 м.

Интрузивные породы. Главную роль в структуре Чуктуконского месторождения играют ультраосновные щелочные породы, представленные щелочными пикритами и брекчиями щелочных пикритов ($\epsilon \delta T_1$), и карбонатиты ($x T_1$) чадобецкого комплекса, тела которых концентрируются в сводовой части Чуктуконской брахиантиклинали. Возраст пород комплекса определен по флогопиту калий-аргоновым методом как позднетриасовый, возраст щелочных пикритов колеблется в пределах $299,0 \pm 9,0$ – $255,1 \pm 7,7$ млн лет, для взрывных

брекчий он составляет $219,7 \pm 6,6$, карбонатитов – $260,1 \pm 7,8 - 183,3 \pm 5,3$ млн лет. Все массивы, как выходящие на поверхность, так и перекрытые осадочным чехлом, переработаны процессами гипергенеза, что существенно затрудняет определение морфологии и размеров тел, а также изучение петрографической и петрохимической характеристик первичных пород.

Щелочные пикриты месторождения характеризуются петрохимическими признаками, которые существенно отличают их от типичных ультраосновных пород. Для них характерно присутствие флогопита, мелилита, нефелина, пироксена, обычно замещенных вторичными минералами, повышенная магнезиальность и железистость, резко повышенная кальциевая составляющая, а также высокие содержания фосфора (0,77-2,63 %). Содержание суммы щелочей (от 1,3 до 5 – 6 %) позволяет отнести породы к щелочным ультраосновным. По значениям важнейших петрохимических характеристик ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}; \text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}; \text{al}$) в совокупности с минеральным составом породы относятся к семейству умеренно щелочных пикритов. Подавляющее большинство массивов (более трех десятков) выделено лишь по данным геофизических исследований. Щелочные пикриты представлены как «слепыми» телами, так и выходящими на поверхность. Это мелкие штокообразные тела, реже жилы, в горизонтальном сечении овальной, полукольцевой, неправильной формы мощностью от первых до нескольких сотен метров. Залегают они, как правило, на периферии карбонатитовых массивов, хотя некоторые тела находятся внутри контура карбонатитов.

Брекчий и щелочных пикритов слагают трубообразные тела эруптивной природы (трубки), которые приурочены к периферической части купола, они характеризуются аномалиями изометричной, овальной формы интенсивностью до нескольких сотен нТл. К настоящему времени на Чуктуконском куполе известны и достаточно хорошо изучены четыре трубки – Верхне-Чуктуконская, Южно-Чуктуконская, Большая и Малая. Алмазонасность их пока достоверно не установлена.

Карбонатиты. В апикальной части Чуктуконского купола локализованы два крупных штокообразных тела карбонатитов – Южное и Центральное. Карбонатиты, в отличие от щелочных пикритов, практически не магнитны, но при малой мощности перекрывающих отложений продукты их выветривания, накапливающие торий, редкие металлы, фосфор и другие элементы, достаточно четко фиксируются радиометрией, по увеличению гамма-поля свыше 8-10 мкр/ч, и контрастными комплексными литогеохимическими аномалиями.

Центральное тело карбонатитов расположено в истоках руч. Чуктукон, имеет неправильную штокообразную форму с извилистыми контурами, слегка вытянуто в меридиональном направлении, размером 2,5 x 1,8 км.

Южное тело карбонатитов (1,9 x 0,9 км) располагается на правом склоне долины руч. Чуктукон, между двумя его правыми притоками, имеет неправильную штокообразную форму, вытянуто в широтном направлении, контуры его извилистые.

По минеральному составу, текстурно-структурным особенностям, а также на основании данных химических анализов на месторождении выделены три структурно-минералогических типа карбонатитов: ниобий-редкоземельные – существенно кальцитовые, собственно редкоземельные – существенно доломитовые и реже встречающиеся доломит-сидерит-кальцитовые.

Строение профиля коры выветривания редкометалльных карбонатитов

Чуктуконское месторождение представлено мощной корой выветривания. В морфологическом отношении она является площадной с элементами линейной, возраст ее – поздний мел – палеоген. Кора выветривания развита по всем образованиям – осадочным, щелочным ультраосновным породам, редкометалльным карбонатитам.

Редкометалльным корам выветривания свойственны следующие характерные признаки продуктов латеритного выветривания карбонатитов: большая мощность (150-300 м); необычайная интенсивность гипергенных процессов, вследствие чего преобладающая часть профиля выветривания представлена продуктами конечного гидролиза (ферритная зона), в которой доминируют окислы и гидроокислы железа и марганца; практически полное отсутствие реликтовых минералов исходных пород; тонкодисперсный характер продуктов латеритного выветривания карбонатитов вследствие преобладания тонких частиц окислов и гидроокислов Fe и Mn.

Профиль выветривания карбонатитов специфичен. В его строении (снизу вверх) выделены три зоны: а) зона дезинтеграции, б) зона выщелачивания и гидрогенной цементации, в) зона бурых железняков и охр (конечных продуктов).

Площадь коры выветривания по карбонатитам сравнительно небольшая – около 16 км², мощность её достигает 300 м, закономерно увеличиваясь к сводовой части купольной структуры. Нижняя и верхняя границы коры выветривания весьма неровные.

Продукты выветривания карбонатитов неизбежно испытывают трансформацию с увеличением содержания железа и марганца, возрастает их объемный вес, резко увеличивается также содержание элементов-гидролизатов (ниобия и РЗМ) с коэффициентом концентрации 4-6.

Типы руд и строение рудной зоны месторождения

Редкометалльные руды коры выветривания карбонатитов по составу и структуре представлены следующими тремя главными разновидностями:

бурые железняки от красновато-бурых оттенков до темно-бурых и черных, имеющие кусковато-желваковое строение размером от нескольких мм до 10-15 см. Породы часто характеризуются натечным строением, кавернозностью, нередко обладают струевой полосчатостью, содержат вкрапленность вторичного пирохлора. Залежи бурых железняков составляют около 14 % объема редкометалльных кор выветривания;

охры (глинистые, рыхлые, сыпучие желто-бурого цвета, черные тонкодисперсные породы), нередко содержащие желваки бурых железняков и структурные комки, легко разрушающиеся при слабом механическом воздействии. Присутствует вторичный пирохлор в виде вкрапленности мелких кристаллов белого цвета. Охры составляют около 42 % объема редкометалльных кор выветривания;

глины охристые, рыхлые или комковатые, желтые или желто-бурые, отличающиеся от охр более светлой окраской и более низким содержанием окислов и гидроокислов Fe и Mn при несколько повышенном содержании глинозема и кремнезема. Присутствует вторичный пирохлор. Породы составляют около 44 % объема редкометалльных кор выветривания.

Рудоносные коры унаследовали первичную зональность, соотношение РЗМ и ниобия стабильно во всех зонах выветривания.

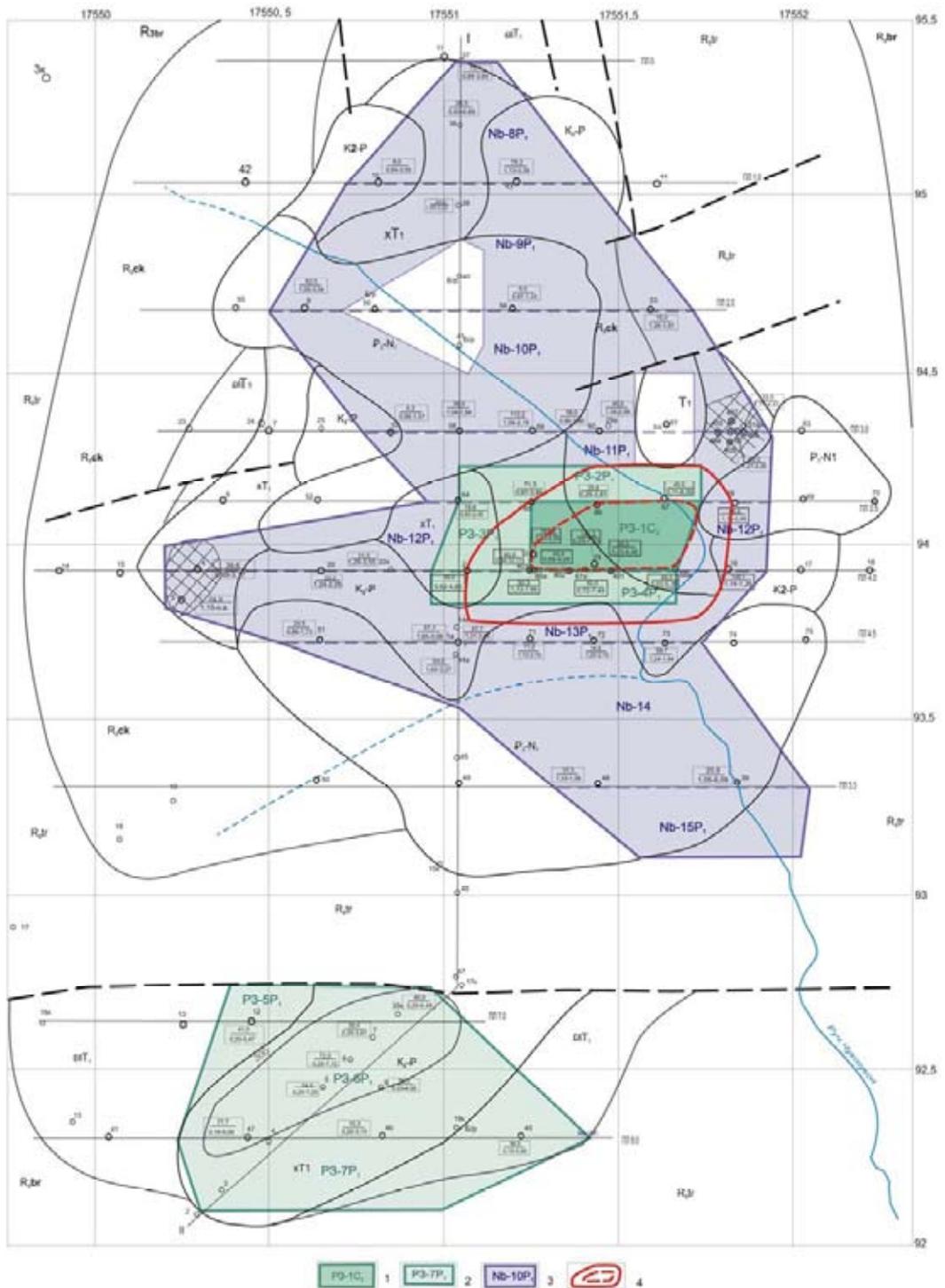


Рис. 3. Схема блокировки запасов и ресурсов Чутуконского месторождения. Масштаб 1:10000. 1 – редкоземельные руды, категория С₂; 2 – редкоземельные руды, категория Р₁; 3 – ниобиевые руды, категория Р₁; 4 – проектный контур карьера

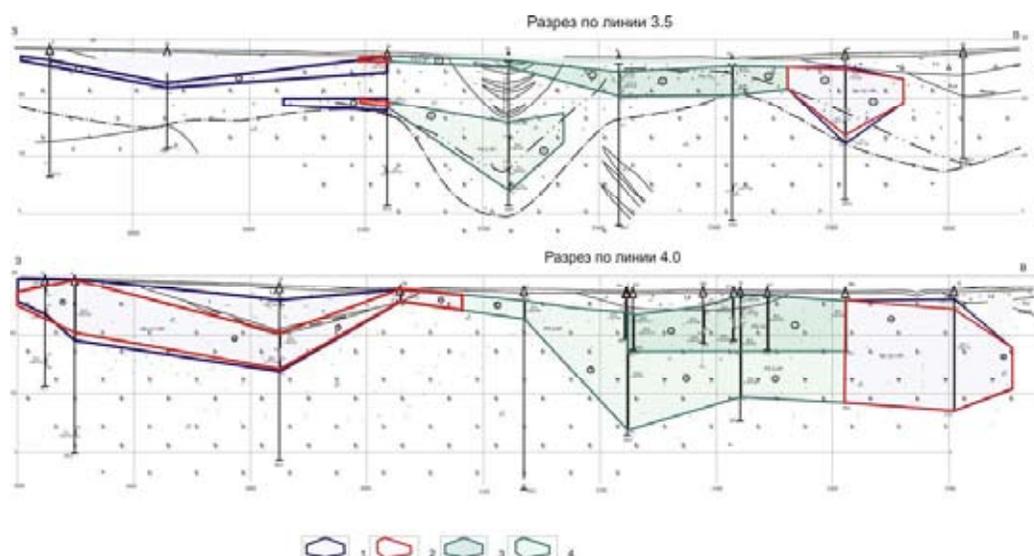


Рис. 4. Разрезы по линиям 3,5 и 4,0. Чуктуконское месторождение. Масштаб 1:10000. 1-2 – контуры ниобиевых руд по бортовому содержанию Nb_2O_5 : 1 – 0,4 %; 2 – 0,8 %; 3-4 – контуры редкоземельных руд категорий: 3 – C_2 ; 4 – P_1

Рудная зона Чуктуконского месторождения представляется как мощное коровое плащеобразное тело (рис. 3, 4). Оконтуренная по бортовому содержанию РЗМ в 3,0 % в редкоземельных рудах и содержанию оксида ниобия 0,8 % в ниобиевых рудах рудная зона обладает протяженностью в направлении север-юг около 3,5 км, максимальная ширина ее 1600 м. Рудная зона имеет значительную сплошность с отдельными окнами безрудных и слабо оруденелых кор.

Редкоземельные и ниобиевые руды не имеют четко обозначенных литологических границ и оконтурены по данным опробования. Размеры центрального блока редкоземельных руд, расположенного между линиями 3.5 и 4.0, 400x600 м в плане и 200 м по глубине. Южный блок между поисковыми линиями 7.0 и 8.0 имеет размеры с севера на юг соответственно 300 м, с запада на восток 800 м и на глубину залегания руд 100-200 м со слабым погружением на восток.

Ниобиевые руды (по бортовому содержанию Nb_2O_5 – 0,8 %) в плане оконтуривают редкоземельные руды. На южном блоке они не проявляются. Здесь коры наследуют состав коренных доломит-кальцитовых карбонатитов со слабым проявлением ниобиевой минерализации, а потому заключают только редкоземельные руды. Максимальные проявления как редкоземельного, так и ниобиевого оруденения приурочены к зрелым корам выветривания (КВ) латеритного типа и практически вписываются в контур максимального их развития.

Минеральный состав редкометалльных кор выветривания

Продукты латеритного выветривания карбонатитов весьма специфичны по минеральному составу. Преобладающими минеральными компонентами руд являются гетит, гидрогетит, гематит, псиломелан, пиролюзит. Характерен своеобразный набор редкометалльных минералов: бариопирохлор, стронципирохлор, цериопирохлор, на отдельных участках встречается так-

же, в той или иной степени измененный, первичный пироксид обычного состава, характерный для невыветрелых карбонатитов. Минералы редких земель представлены вторичным флоренситом, монацитом, церианитом.

Образование высоких концентраций ниобия и редких земель в КВ происходит на фоне выноса кальция, алюминия, кремнезема и щелочных металлов при одновременной концентрации оксидов железа и марганца. По величине положительной парной корреляции определен круг соединений и минералов, являющихся концентраторами ниобия и редкоземельных металлов. Статистическим анализом групповых проб установлена отрицательная корреляция полезных компонентов руд с кремнеземом, глиноземом и известью. Вынос этих соединений и декарбонизация карбонатитов приводит к образованию промышленных концентраций редких земель.

Кроме ниобия и РЗМ для Чуктуконского месторождения определен интерес представляют ввиду повсеместной распространенности, высоких содержаний и возможности выделения их в самостоятельный продукт марганец, железо, скандий, галлий, ванадий, возможно, цинк, молибден, торий, уран.

Технологическая характеристика руд

В Советском Союзе эксплуатировали месторождения коренных руд ниобия и редких земель, тогда как за рубежом подавляющее количество этих металлов добывают из кор выветривания.

Опыт технологических исследований руд Чуктуконского месторождения кратко обобщен в табл. 1.

Подсчет запасов и ресурсов

Подсчет запасов и ресурсов редкоземельных и ниобиевых руд Чуктуконского месторождения выполнен по временным кондициям, разработанным партией по подсчету запасов и составлению ТЭДов ОАО «Красноярскгеология», по состоянию на 01.01.2006 г.

По совокупности показателей проведенного ТЭО временных разведочных кондиций для редкоземельных руд рекомендованы следующие значения основных параметров:

- бортовое содержание по сумме оксидов редкоземельных металлов 3 % ,
- минимальная мощность рудного интервала – 4 м, при меньшей мощности пользоваться величиной метропроцента, равной 12;
- максимальная мощность некондиционных руд и пустых прослоев 5 м;
- глубина подсчета запасов категории C_2 для редкоземельных руд 100 м.

Рудная зона в разрезах имеет субгоризонтальное залегание. С учетом этого подсчет запасов выполнен методом параллельных вертикальных сечений (геологических разрезов) с опорой блоков на два разреза (рис. 3, 4).

На Чуктуконском месторождении для учета запасов и ресурсов выделены два природных типа руд: ниобиевые и редкоземельные. На площади 2,5 x 1,5 км располагается залежь ниобиевых руд, ориентированная в меридиональном направлении. В центральной ее части размещается тело редкоземельных руд, слегка вытянутое в широтном направлении и имеющее размеры 600 x 400 м.

Таблица 1. Технологические исследования руд Чуктуконского месторождения

№№ проб, год	Место отбора, вес пробы	Исполнитель, характеристика пробы, содержание компонентов	Характеристика продуктов
ЧТП-1 1987	Скв. 1, 2, 4, 8	Гиредмет. (Чистов) Охристо-глинистые продукты выветривания карбонатитов	Установлена принципиальная возможность комплексной переработки руды с получением трех продуктов: ниобиевого концентрата с содержанием 2,5 % Nb ₂ O ₅ , концентрата суммы P ₂ O ₅ с извлечением 98 % и железосодержащего продукта. При пирометаллургическом переделе легирующие сплавы с отношением ниобия к фосфору как 42:72 могут найти применение при выплавке низколегированных сталей с содержанием 0,1-0,5 % ниобия и 1,5-1,7 % марганца. Конечный шлак, содержащий 12,6 % P ₂ O ₅ и 7,3 % BaO, может служить сырьем для выплавки комплексных модификаторов с PЗМ и барием
ТП-3 1989	Скв. 16, 33-210 м, 300 кг	КИЦМ (Брагина и др.). Охристо-глинистые продукты выветривания карбонатитов. Fe – 25,5 %, P ₂ O ₅ –12,4 %, Nb ₂ O ₅ –0,88 %, PЗО –1,89 %	При флотации и при полиградиентной сепарации получен фосфатный концентрат с P ₂ O ₅ 34,1 % при извлечении 56 %, черновой ниобиевый продукт с 2,4 % Nb ₂ O ₅ с извлечением 61,9 % ; редкоземельный продукт с 4,68 % PЗО и извлечением 80,9 %. Имеется возможность при гранулометрической сепарации повысить содержание редких металлов в классах -0,5 мм в 1,2 раза при потерях в хвостах (крупная фракция) до 20 %
ТП-4 1990	Скв. 3, 41-74 м, скв. 19 69-111 м, скв. 58 105-131 м	Алма-Ата, КазИМС (Нарезов и др.). Кора выветривания карбонатитов, охристые и глинистые продукты. P ₂ O ₅ –6,56 %, Nb ₂ O ₅ –0,72 %, PЗО–6,72 %,	1. Азотно-кислородное выщелачивание измельченной руды с получением смеси PЗО, железониобиевого концентрата с Fe ₂ O ₃ – 55 %, P ₂ O ₅ –0,04 %, Nb ₂ O ₅ –0,85 % ; фосфатное удобрение с P ₂ O ₅ 20 %. Извлечение всех компонентов в товарные промпродукты на уровне 98 %. 2. Вариант с содовым спеканием измельченной руды с получением железо-редкоземельно-ниобиевого концентрата (Fe ₂ O ₃ – 61,5 %, PЗО– 7 %, Nb ₂ O ₅ –0,73 %, P ₂ O ₅ –0,04 % и фосфорного удобрения с P ₂ O ₅ 30 %). Извлечение всех компонентов в продукты 98 %. Предлагаемая технология органически вписывается в действующую аппаратную схему Киргизского ГХК; для Целиноградского ГХК внедрение подобной технологии требует определенных капитальных затрат
ТП-5 1991	Скв. 59 53-70 м скв. 62 12-28 м	Москва, Гиредмет (Барсукова и др.). Кора выветривания карбонатитов, охристые и глинистые продукты P ₂ O ₅ – 5,6, Nb ₂ O ₅ – 1,20, PЗО – 4,70, Y ₂ O ₃ – 0,19	Наиболее перспективной схемой может быть комбинированная технология, включающая предварительную подготовку руды методами обогащения (десинтеграция, измельчение, обесшламливание, магнитная сепарация). Переработку шламов и немагнитной фракции гидрометаллургией, а переработку магнитной – пирометаллургическими методами. При гидрометаллургии по сульфатно-азотнокислотному способу выделяются следующие кондиционные продукты: – ниобиевый продукт для феррониобия – Nb ₂ O ₅ = 25 %, MnO=12,4 %, F ₂ O ₃ =59,4 %, P ₂ O ₅ =0,1 % ; – концентрат, содержащий 98 % суммы PЗО; – марганцевый концентрат с содержанием MnO=91,4 % Из магнитной фракции может быть получен Nb-Mn легирующий сплав – Nb ₂ O ₅ –2,31 %, Mn–50,5 %, P ₂ O ₅ – 0,1 %, V ₂ O ₅ – 0,36 %

Продолжение табл. 1

МТП-93 1993	Дубликаты керна скважин 46, 4, вес 20 кг. 1998	Красноярск ИХХТ СОРАН (Кузьмин) Кора выветривания карбонатитов Fe_2O_3 – 50 %, P_2O_5 – 6 %, Nb_2O_5 – 1,00 % РЗО – 6 %	На первом этапе обогащения использовался фактор высокого содержания в руде железа при совмещении операций измельчения, обогащения и щелочного вскрытия руды с удалением фосфора и алюминия. Щелочной раствор очищался и регенерировался обработкой известью, а кек подвергался термической обработке с переводом железа в магнитные соединения. После магнитной сепарации содержание полезных компонентов (Nb+РЗО) увеличивалось в 2,5 раза. Химико-технологическое производство начиналось с кислотного вскрытия химконцентрата и разделения РЗМ экстракционными методами
ТП-6 1999	Скв. 44, 47, 51, 54, 62, 71, 74	Красноярск, ИХХТ СО РАН (Кузьмин). Nb_2O_5 –0,8 %, РЗО–6,8 %, Fe – 36 %, Mn–7 %, P_2O_5 –4,3 %.	1 Восстановительный отжиг, щелочная обработка для разложения фосфатов, магнитная сепарация, известкование: – азотно-кислородное выщелачивание гидроокислов редких земель с извлечением 82-85 % церия и 87-88 % остальных РЗМ путем экстракции с выделением индивидуальных РЗМ; – выделение пирохлорового концентрата методом мокрой полиградиентной сепарации. В немагнитном продукте с 5 % Nb_2O_5 после кислотной доводки содержание Nb_2O_5 повышается до 20 %.

Второе тело редкоземельных руд размещается в южной части месторождения, немного вытянуто также в широтном направлении и имеет размеры 1000 x 600 м. Границы между выделяемыми типами руд размыты и весьма условны. Учет их проводили для ниобиевых руд при величине бортового содержания оксида ниобия, составляющего 0,8 % . Для оконтуривания редкоземельных руд применяли величину бортового содержания 3 % оксидов РЗМ. Соотношение основных компонентов, определяющих ценность руд РЗМ и ниобия, в ниобиевых рудах составляет 2,5 – 3, в редкоземельных – 15 – 20.

Протоколом ГКЗ МПР РФ №1356 от 16.03.2007 г. утверждены запасы балансовых редкоземельных руд по кат. С₂ в количестве 6,6 млн т, при среднем содержании Nb_2O_5 – 0,60 % , РЗО – 7,32 % , MnO_2 – 15,5 % , $Fe_{общ.}$ – 34,3 % .

Авторские прогнозные ресурсы ниобиевых и редкоземельных руд базируются на результатах буровых работ и по качественным характеристикам соразмерны запасам, утвержденным ГКЗ (табл. 2).

Кроме того, в редкоземельных рудах по групповым пробам определено: железо (28,6 %), марганец (6,9 %), в ниобиевых – железо (31,0 %), марганец (4,6 %), содержание пятиоксида ванадия по десяткам определений в групповых и штучных пробах составляет в среднем 0,28 % .

За пределами учета запасов и прогнозных ресурсов осталась значительная часть руд, отнесенная условно к забалансовым. В ниобиевых рудах они характеризуются величиной бортового содержания оксида ниобия 0,4 % , в редкоземельных рудах величина бортового содержания оксидов РЗМ составляет 1 % , ресурсная база таких руд около 220 млн т.

В рекомендациях экспертной комиссии ГКЗ МПР отмечена необходимость проведения опытных работ на представительной полупромышленной пробе по глубокому обогащению

Таблица 2. Запасы и ресурсы ниобиевых и редкоземельных руд

Руды	Категория	Запасы (ресурсы), тыс. т	Содержание, %		Запасы (ресурсы), т	
			Nb ₂ O ₅	P ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	P ₂ O ₅
Редкоземельные	C ₂	66,39	0,60	7,32	39834	485975
Редкоземельные	P ₁	61629	0,34	6,18	209951	3809735
Ниобиевые	P ₁	101092	1,18	2,96	1197150	2997142

руд с выбором конкретных технико-технологических решений. Предложено обосновать целесообразность извлечения попутных полезных компонентов – марганца, железа, скандия, ванадия – с целью определения балансовой принадлежности этих компонентов руд.

К настоящему времени рекомендуется комбинированная пирогидрометаллургическая схема, предусматривающая восстановительную плавку с переводом металлов в чугуны и шлак. В чугуны вместе с железом извлекается марганец (82 %), ниобий (65 %), фосфор (88 %) и ванадий. В шлаках содержание РЗМ повышается не менее чем в 4 раза и достигает 15-20 %. Дальнейшая переработка предусматривает перевод этих металлов из чугуна в шлак путем окислительной обработки с выделением фосфорной, ванадиевой, марганцевой и ниобиевой продукции. Редкоземельные шлаки перерабатываются по гидрометаллургической схеме путем прямого выщелачивания азотной кислотой.

Перспективы модернизации редкометалльного производства

Эксплуатация металлических месторождений с небольшими объемами производства для потребления в одной стране, как правило, неэффективна и неконкурентоспособна. Поэтому все сырьевые добывающие комплексы в основном транснациональные, что обеспечивает высокую производительность по руде, известную стабильность и высокую доходность.

В рудах Чуктуконского месторождения в разнообразных минеральных сочетаниях заключены пять металлов, образующих промышленные концентрации. Это железо и марганец (черные металлы), ниобий, редкоземельные металлы и ванадий (редкие или малые промышленные цветные металлы). Использование этого набора металлов обеспечивает полноту извлечения их из недр на уровне 80 % и существенно повышает экономическую эффективность разработки месторождения.

По наиболее применяемой систематике редкоземельные металлы разделяют на две группы – цериевую и иттриевую. В состав цериевой группы входят цериевые или легкие лантаноиды – от лантана до неодима. В состав иттриевой группы – средние лантаноиды от самария до гольмия, тяжелые лантаноиды – от эрбия до лютеция, а также иттрий. Состав редкоземельных руд ряда месторождений приведен в табл. 3

Ценность редкоземельных руд различается по соотношению в их составе индивидуальных металлов, редко встречаемых, но зачастую наиболее востребованных, в 100-200 раз по цене выше, чем более распространенных. Пример тому – различная стоимость 1 кг РЗМ Чуктуконского месторождения в составе ниобиевых и редкоземельных руд (табл. 4).

Таблица 3. Состав редкоземельных руд месторождений мира

Месторождения	Промышленный тип	Среднее содержание извлекаемых РЗМ, %	Состав РЗМ, % (отн.)			
			Лантан-неодим La-Nd	Самарий-гольмий Sm-Ho	Эрбий-лютеций Er-Lu	Иттрий Y
Баюнь-Обо, Китай	Бастнезитовый	3,5	97,5	1,90	0,1	0,5
Ловозерское, Мурманская область	Лопаритовый вкрапленный силикатный	0,58	97,85	2,12	0,02	0,01
Катугинское, Забайкальский край	Циркон-колумбит-пирохлоровый с редкоземельными фосфатами	0,21	21,7	22,4	10,70	45,2
Меловое (Казахстан)	Органогенный фосфатный	0,23	64,9	11,0	2,6	21,5
Томторское, Саха-Якутия	Пирохлор-монацит-крандаллитовый	5,9	90,03	5,03	0,73	4,21
Чуктуконское, редкоземельная руда	Пирохлор-монацит-крандаллитовый	3,71	94,16	3,48	0,36	2,0
Чуктуконское, ниобиевая руда	Пирохлор-монацит-крандаллитовый	1,75	91,84	4,74	0,48	2,94

Примечание. В табл. 3-10 расчеты приведены по металлам (ниобий, РЗМ, ванадий) с понижающими коэффициентами перевода оксидов в металлы соответственно 0,7, 0,83, 0,56. Цены металлов приведены с повышающими коэффициентами для оксида ниобия – 1,43, РЗО – 1,2, оксида ванадия – 1,78.

С учетом рисков неполной реализации части индивидуальных РЗМ, в расчетах принята цена 1 кг РЗМ, равная 0,8 от расчетной, что составляет для редкоземельных руд – 356 руб., для ниобиевых – 418 руб. (по курсу 1 долл. США – 30 руб.).

В 2002 г. в ИМГРЭ были рассчитаны коэффициенты учета востребованности при геолого-экономической оценке. Для типов месторождений с цериевым составом РЗМ этот коэффициент составляет 0,8 – 0,9 от полной стоимости РЗМ в рудах, для месторождений с иттриевым составом – 0,4 – 0,7 [7].

Потребности высокотехнологичных производств в последние 15 лет обеспечили беспрецедентный рост выпуска РЗМ и цен на индивидуальные металлы. Прошло время «вялого» рынка и стабильно низких цен, длившееся десятилетия. В табл. 5 приведены сведения о «взрывном» характере роста производства и рынка РЗМ. Цены на металлы взяты из Metal Torg. Ru, Информ-Цена Дайджест, БИКИ.

Динамика потребления ниобия хорошо коррелируется с производством стали, так же как потребление никеля и молибдена. С 2000 г. отмечается резкий рост производства стали и легирующих металлов (табл. 6). Примечательно, что при росте среднегодового производства в 1,6–2,7 раза объем рынка легирующих металлов возрастает в 6–10 раз из-за одновременного роста цены этих металлов.

Повышение качества сталей до уровня производимых США, Бразилией, Японией (60-70 г ниобия на 1 т стали) может потребовать как минимум удвоения производства ниобия до 80-100 тыс. т.

Таблица 4. Расчетная стоимость 1 кг РЗМ Чуктуконского месторождения

Металлы	Средняя цена 1 кг, долл. США (2004-2008)	Спектр состава РЗМ, %		Стоимость металла в 1 т руды, долл. США	
		Редкоземельные руды	Ниобиевые руды	Редкоземельные руды	Ниобиевые руды
Лантан	6,4	32,39	27,84	2,073	1,782
Церий	7,6	46,93	44,97	3,567	3,418
Празеодим	24,5	3,88	4,49	0,951	1,100
Неодим	26,5	10,96	14,54	2,904	3,853
Самарий	14,4	1,36	1,80	0,136	0,196
Европий	410	0,34	0,48	1,394	1,968
Гадолиний	25	1,08	1,47	0,270	0,368
Тербий	633	0,13	0,17	0,823	0,693
Диспрозий	96,3	0,50	0,72	0,482	0,693
Гольмий	140	0,07	0,10	0,098	0,140
Эрбий	300	0,16	0,24	0,480	0,720
Тулий	1000	0,023	0,029	0,230	0,290
Иттербий	150	0,15	0,18	0,225	0,270
Лютеций	1500	0,028	0,027	0,420	0,405
Иттрий	37,9	2,00	2,94	0,758	1,114
Цериевые всего		94,16	91,84	9,50	10,15
Иттриевые всего		5,84	8,16	5,32	7,24
Всего долл. США		100	100	14,82	17,39
Всего руб.				445	522

Таблица 5. Динамика производства, цен и объемов рынка редкоземельной продукции (долл. США)

Годы	Производство по годам			Рост к предыдущему периоду, %			
	объем, тыс. т	цена 1 кг РЗМ	объем рынка, млн долл.	отношение к предыдущему периоду	производство, тыс. т	цена	объем рынка
1996	64,0	9,1	582				
2000	77,0	7,9	608	2000/1996	20,3	-13,2	4,5
2002	81,9	11,7	958	2002/2000	6,4	48,1	57,7
2004	85,0	11,6	986	2004/2002	3,8	-0,9	2,9
2006	102,5	14,6	1496	2006/2004	20,6	25,9	51,7
2008	104,2	22,9	2386	2008/2006	1,7	56,8	59,5
				2008/1996	62,8	51,6	310,0

Таблица 6. Мировое производство стали и легирующих металлов

Периоды	Среднегодовое производство				Объем рынка металлов, млрд долл.				Удельное кол-во Ni, Mo, Nb на 1 т стали в граммах		
	FE	NI	MO	NB	FE	NI	MO	NB	NI	MO	NB
1990-1994	720	848	108	16	237,6	5,03	1,18	0,25	1180	150	22
1995-1999	773	996	136	20	293,7	6,63	1,35	0,32	1288	176	26
2000-2004	945	1184	131	36	411,1	10,62	1,82	0,65	1253	139	38
2005-2009	1251	1339	200	54	625,5	31,00	12,0	2,16	1070	160	43

Таблица 7. Расчетное годовое производство металлов из ниобиевой руды (производительность 3,3 млн т)

Металлы	Содержание в геологических запасах, %	Извлечение	Извлекаемое содержание, %	Цена 1 т металла, тыс. руб.	Извлекаемая продукция		
					Металл, тыс. т	Стоимость, млн руб.	Доля в стоимости, %
Fe	31,0	0,85	26,4	9	871,2	7841	11,3
Mn	4,6	0,80	3,7	48	121,4	5829	8,4
Nb	0,83	0,80	0,66	1233	21,7	26879	38,7
V	0,16	0,70	0,11	1260	3,7	4657	6,7
РЗМ	2,50	0,70	1,75	418	57,8	24160	34,8
					1075,8	69366	100

Таблица 8. Расчетное годовое производство металлов из редкоземельной руды (производительность 2 млн т/год)

Металлы	Содержание в геологических запасах, %	Извлечение, %	Извлекаемое содержание, %	Цена 1 т металла, тыс. руб.	Извлекаемая продукция		
					Металл, тыс. т	Стоимость, млн руб.	Доля в стоимости, %
Fe	28,6	0,85	24,3	9	486,0	4374	9,9
Mn	6,9	0,80	5,5	48	110,0	5280	12,0
Nb	0,26	0,80	0,21	1233	4,2	5179	11,8
V	0,16	0,70	0,11	1260	2,2	2772	6,3
РЗМ	5,30	0,70	3,71	356	74,2	26450	60,0
					676,6	44020	100

Наличие двух естественных типов руд – ниобиевого и редкоземельного, – пространственно обособленных и отличающихся по технологии переработки, предопределило и необходимость отдельных экономических расчетов (табл. 7-8).

Как следует из табл. 8, около 40 % стоимости составит собственно ниобий, около 35 % стоимости придется на РЗМ, причем из ниобиевой руды может быть получено 22 тыс. т ниобия, или в 10 раз больше всего производства ниобия в СССР в последний год его существования.

Второй металлической продукцией могут стать редкоземельные металлы стоимостью более 20 млрд руб. Такое количество РЗМ многократно покрывает потребности России и обеспечит экспортные возможности, к примеру в торговле с Японией, на 100 % .

За 2007 г. и первое полугодие 2008 г. (предкризисный период) японский импорт редких земель из Китая достиг 40 тыс. т на сумму 63,9 млрд иен или 23,5 млрд руб.

Представляется, что такой мегапроект, как освоение Чуктуконского месторождения, может быть реализован на корпоративной основе с участием ряда стран-потребителей РЗМ. Кроме Японии, основными потребителями РЗМ являются США и Западная Европа. Ежегодные потребности этих стран в РЗМ на ближайшие годы составят 40 тыс.т.

По оценкам ИМГРЭ, объем инвестиций в Чуктуконский объект при годовой производительности 100 тыс. т. по руде составит 83,7 млн долл. США. По бизнес-плану международной компании Ernst&Young (2005 г.) потребность в инвестициях определяется в объеме 85 млн долл. США.

Комбинированная технология переработки чуктуконских руд с выплавкой марганцовистого с ниобием и ванадием чугуна и редкоземельного шлака позволяет повышать концентрацию РЗМ в шлаке до 15-20 % . Шлак может быть получен в обычном остеклованном варианте и может сохраняться как промпродукт в экологически безопасном гранулированном виде, противостоящем водовоздушному воздействию, неограниченно долгое время. Часть редкоземельного шлака, перерабатываемого с целью текущей реализации РЗМ, выпускается в модифицированном виде для водорастворимых процессов при гидрометаллургическом переделе. Редкоземельные шлаки, как остеклованные, так и модифицированные, могут успешно перерабатываться на Соликамском магниевом заводе по хлорной технологии, используемой при переделе лопаритового концентрата. Такая экологически и экономически эффективная технология переработки модифицированных шлаков разработана в Красноярском научном центре СО РАН.

В табл. 9 приведены технико-экономические показатели реализации наиболее успешных горных проектов освоения крупных месторождений минерального сырья: крупнейшего Аксугского медно-молибденового месторождения в Тыве, Кингашского медно-никелевого, Боготатного золоторудного, Порожинского марганцевого в Красноярском крае.

В качестве примера для сравнения приведены сведения по экономике разрабатываемого Курумбинского газоконденсатного и нефтяного месторождения. Это месторождение, известное уже 50 лет, является типичным для среднесибирских, соседствующих с траппами углеводородных объектов, и по объему инвестиций и экономическому эффекту выглядит не лучше Чуктуконского.

Реализация Чуктуконского мегапроекта позволит вернуть России позиции по производству ряда металлов, утраченные при распаде СССР, при высокой эффективности производства. Достаточно отметить, что при освоении ниобиевых руд за 10 лет чистый дисконтированный

Таблица 9. Технико-экономические показатели освоения месторождений

Месторождение, проект	Инвестиции млн руб./горизонт оценки	Производительность		Удельные инвестиции на годовой доход	Цена единицы продукции	Годовая стоимость продукции	Себестоимость		Затраты на 1 руб. продукции, руб.	ЧДД, млрд руб.
		руда тыс.т.	продукт				1 т руды	1 т продукции		
Аксуг, 2009, Гипроцветмет	23677 19 лет	14000	9494 т Mo	1,27	1969 тыс. руб/т	18693 млн руб.	1018	1496 тыс. руб.	0,76	4,0
Кингаш, 2009, Гипроникель	31365 26 лет	9500	24900 т усл. Ni	1,32	920 тыс. руб/т	23794 млн руб.	655	244 тыс. руб.	0,26	39,3
Благodatное, Au, 2008, Полус	10844 15 лет	6000	13000 кг Au	1,46	572 руб/г	7436 млн руб.	658	327 тыс. руб.	0,57	3,2
Чукотконское, 2010 (ниобиевые руды)	91193 10 лет	3300	Nb 21700 т (53350 т. усл. Nb)	1,33	1233 тыс. руб/г	69366 млн руб.	8879	549 тыс. руб.	0,42	33,1
Чукотконское, 2010 (редкоземельные руды)	65811 10 лет	2000	P3M 74200 т (12365 усл.. P3M)	1,35	356 тыс. руб/г	44020 млн руб.	8000	136 тыс. руб.	0,36	22,1
Порожинское, марганцевое, 2001	5400 10 лет	2470	280 тыс. т	1,32	14,6 тыс. руб/г	4087 млн руб.	1324	11720 руб.	0,80	2,5
Куомбинское, нефть, газ, конденсат, 2010	93645 16 лет	4000	4 млн т нефти	2,1	10800 руб/г	44553 млн руб.	3240	3240 руб.	0,30	35,4

Таблица 10. Стоимость РЗМ, извлекаемых из 1 т руды месторождений мира

Месторождение	Извлекаемые содержания РЗМ, %	Стоимость РЗМ, долл. США				
		La-Nd	Sm-Ho	Er-Lu	Y	Итого
Баюнь-Обо	3,50	409,3	64,6	0,83	6,63	481,4
Ловозерское	0,58	61,4	18,4	0,70	0,02	80,5
Катугинское	0,21	7,5	42,6	92,0	37,0	179,0
Меловое	0,23	18,5	22,0	21,6	80,9	143,0
Томторское	5,9	598,9	326,9	173,5	94,4	1193,5
Чуктуконское (редкоземельные руды)	3,71	352,3	118,8	50,3	28,1	549,5
Чуктуконское (ниобиевые руды)	1,75	177,7	78,8	24,9	19,5	300,9

доход составит 33 млрд руб. при бюджетной эффективности 35 млрд руб., а при разработке редкоземельных руд соответственно 22 и 25 млрд руб.

Одним из решающих доводов в пользу освоения именно Чуктуконского месторождения является экономический фактор, определяемый природной долей металлов иттриевой группы в составе РЗМ (5-8 %), что соответствует соотношению уровня потребления в мире и будет способствовать более полной реализации продукции. Ценовое соотношение доли иттриевых металлов в стоимости чуктуконских руд составляет 35-40 % , что может уменьшить риски реализации при волатильности цен на отдельные металлы (табл. 10).

Как следует из табл. 10, наиболее высокоценными по стоимости извлекаемых РЗМ являются руды месторождений Баюнь-Обо (481,4 долл. США или 14,4 тыс. руб.), Томтора (1193,5 долл. США или 35,8 тыс. руб.) и редкоземельные руды Чуктукона (549,5 долл. США или 16,5 тыс. руб.). Ценность редкоземельной составляющей руд остальных месторождений в 3-5 раз ниже.

На фоне представленных успешных проектов освоение Чуктуконского месторождения характерно очень крупными инвестициями, наибольшей доходностью и бюджетной эффективностью [5,6]. Главное стратегическое значение проекта состоит в том, что продукции Чуктуконского месторождения достаточно, чтобы получать ежегодно, наряду с 50–70 тыс. т цериевых РЗМ, 4500 т особо востребованных иттриевых лантаноидов для широкого использования в новых технологиях и производствах.

В России с пуском ниобиевого производства не будет лимитировано потребление ниобия. Трубная сталь (5 млн т) российского производства, автомобильный лист, конструкционная сталь буровых платформ, кораблей и судов по содержанию ниобия будет, наконец, соответствовать мировым стандартам. Сегодня уровень гармонизации наших стандартов с мировыми по ниобиевым сталям составляет менее 50 % .

Сведения, приведенные в табл. 10, достаточно реально свидетельствуют о больших стартовых затратах для реализации Чуктуконского месторождения. Однако в сравнении с другими проектами металлургических производств они не выглядят чрезмерными. Так, проект разработки Кимкано-Сутарской группы железорудных месторождений (5 млн т руды) в Еврейской

автономной области оценивается в 60 млрд руб.. Стоимость проекта строительства Тайшетского и Богучанского алюминиевых заводов составляет 102 млрд руб., включая обустройство территорий. Стоимость проекта добычи и обогащения 20-30 млн т железной руды Бакчарского месторождения в Томской области оценивается в 180 млрд руб.

Таким образом, реализация Чуктуконского мегапроекта позволит России модернизировать редкометалльную промышленность и занять ведущее место в мировом рынке редких металлов при высокой эффективности производства.

Список литературы

1. Лапин, А.В. Строение, условия формирования и рудоносность главных типов месторождений кор выветривания карбонатитов // Отечественная геология. 1997. № 11. С.15-22.
2. Ломаев, В.Г. Перспективы развития сырьевой базы редкометалльной промышленности в Красноярском крае// Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. Специальный выпуск. Минеральные ресурсы Красноярского края. 2004, С. 51-54.
3. Ломаев, В.Г., Кузьмин, В.И. Редкометалльная промышленность Красноярского края – пропуск в XXI век // Разведка и охрана недр. 2003. №6. С. 23-25.
4. Руды редкоземельных металлов России /Архангельская В.В., Лагонский Н.Н., Усова Т.Ю., Чистов Л.Б//Минеральное сырье. Серия геолого-экономическая. № 19. М.: ВИМС, 2006. 72 с.
5. Сердюк, С.С., Ломаев, В.Г., Конторович, А.А. Минерально-сырьевая база Красноярского края: инвестиционный потенциал // Минеральные ресурсы России. 2000. № 3. С.13-27.
6. Сердюк, С.С., Ломаев, В.Г., Мкртычян, А.К. О приоритетах геологического изучения и развития минерально-сырьевой базы Нижнего Приангарья// Геология и минерально-сырьевые ресурсы Центральной Сибири: Материалы юбилейной научно-практической конференции. Красноярск, 25-26 апреля 2010 г. Красноярск: изд. ОАО «Красноярскгеолсъемка», 2010. С. 47-83.
7. Полякова, М.А. Элементный состав редкоземельных руд и его влияние на оценку месторождений: Автореф. дисс. ... канд. геол.- минерал. наук. М.: ИМГРЭ, 2002. 32 с.

Chuktukon Deposit of the Niobium-Rare Earth Ores is the Top Priority Asset for Modernization of the Rare Metal Industry of Russia

Viktor G. Lomayev^a and Sergey S. Serdyuk^b

^a"Geokomp" LLC,

62 K. Marx st., Krasnoyarsk, 660049 Russia

^bSiberian Federal University,

79 Svobodny, Krasnoyarsk, 660041 Russia

Chuktukon deposit of the niobium-rare earth ores represents the mineral body, which due to its qualitative and quantitative properties may become a key asset for modernization of the rare metal industry of Russia. The deposit belongs to the ore-formational type of the rare metal crusts of the carbonatite weathering. Ore zone of the deposit represents a thick blanket-like body having the length of 3.5 km at the width from 800 to 1400 m and the thickness of up to 200 m. Two types of ores were identified: the niobium ores (at the cut-off grade of Nb₂O₅ - 0.8 %) and the rare earth ones (at the cut-off grade of the rare earth metals – 3.0 %). Mineral composition of the ores: goethite, hydrogoethite, hematite, psilomelane, pyrolusite, barium-pyrochlore, strontium-pyrochlore, cerium-pyrochlore, pyrochlore, florencite, monazite, cerianite. The best treatment option is the pyro-hydrometallurgical ore-processing scheme providing for the recovery of niobium, rare earth, manganese, phosphorus, vanadium, iron commodity at different stages of the processing. Reserves of the rare earth ores, approved by the State Committee for Reserves (GKZ) of the Russian Federation amount to: 6639 kt (C₂ category), niobium pentoxide -39.8 kt (at the grade of 0.6 %), rare earth oxides – 486 kt (at the grade of 7.3 %).

Establishment of the rare earth industry center in the Krasnoyarsk Region has the following competitive advantages: availability of the strategic raw material base required for the high technology – deposits of niobium and rare earth metals, availability of the scientific and production facilities able to perform geological and process studies (Siberian Federal University, Institute of Chemistry and Chemical Technology of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, exploration companies, Krasnoyarsk), production facilities treating the slightly-radioactive concentrate (Integrated Mining and Chemical Plant, Zheleznogorsk). Calculations of the technical-and-economic highlights of the Chuktukon deposit's developments demonstrate high efficiency of the project with the valuation horizon of 10 years. Basic technical-and-economic highlights of the project for the niobium (rare earth) ores: net present value – 33 (22) billion rubles, budgetary efficiency – 35(25) billion rubles, volume of investments – 91(65) billion rubles. Implementation of the Chuktukon mega-project will allow Russia to modernize its rare metal industry and occupy the leading position on the world market of rare metals.

Keywords: Chuktukon deposit, geology, niobium-rare earth ores, reserves, resources, technical-and-economic highlights of development, modernization, rare metal industry.
