

*На правах рукописи*



Пикалова Варвара Сергеевна

**ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА НОВОГО  
ПОТЕНЦИАЛЬНО-ПРОМЫШЛЕННОГО ТИПА НИОБИЕВЫХ РУД  
НА ПРИМЕРЕ БОЛЬШЕТАГНИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

Специальность 25.00.11 – Геология, поиски и разведка  
твердых полезных ископаемых, минерагения

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Москва – 2017

Работа выполнена в ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского» (ФГБУ «ВИМС»), г. Москва

**Научный руководитель:** *Быховский Лев Залманович*,  
доктор геолого-минералогических наук,  
главный научный сотрудник ФГБУ «ВИМС»,  
г. Москва

**Официальные оппоненты:** *Толстов Александр Васильевич*,  
доктор геолого-минералогических наук,  
академик РАЕН, директор НИГП АК «АЛРОСА»,  
г. Мирный

*Мелентьев Гелий Борисович*  
кандидат геолого-минералогических наук,  
старший научный сотрудник ОИВТ РАН, г. Москва

**Ведущая организация:** ФГБУ «Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов» (ФГБУ «ИМГРЭ»), г. Москва

Защита диссертации состоится «17» мая 2018 г. в 13 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 212.121.04 при Российском государственном геологоразведочном университете им. Серго Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ) по адресу: 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23, в аудитории 4-73.

С диссертацией можно ознакомиться на сайте [www.mgri-rggru.ru](http://www.mgri-rggru.ru) и в читальном зале научной библиотеки МГРИ-РГГРУ им. Серго Орджоникидзе (ул. Миклухо-Маклая, д. 23).

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат геолого-минералогических наук



Бобков А.И.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Обеспеченность Российской Федерации редкими металлами является важным условием модернизации отечественной промышленности [Козловский, 2002]. Одним из востребованных редких металлов является ниобий – легирующий металл, который обладает устойчивостью к действию многих агрессивных сред, тугоплавкостью, коррозионной стойкостью, способностью образовывать жаропрочные, сверхпроводящие и другие сплавы.

По запасам ниобия, являющегося стратегическим видом минерального сырья, наша страна занимает второе место в мире (после Бразилии), а по ресурсам их Россия – безусловный мировой лидер. При этом потребность России в феррониобии удовлетворяется большей частью за счет импорта. Сейчас отечественная ниобиевая продукция (в виде пентоксида ниобия) производится только Соликамским магниевым заводом из лопаритовых концентратов Ловозерского ГОКа. Отработка Татарского месторождения ниобия, из руд которого производилось небольшое количество феррониобия, приостановлена, а лицензия сдана. Учитывая количество и качество ниобиевых руд, числящихся на Государственном балансе запасов (ГБЗ) полезных ископаемых, а также особенности размещения ниобийсодержащих месторождений, обеспечение российской промышленности собственным ниобиевым сырьем может быть осуществлено за счет освоения отечественных месторождений ниобия и создания на их основе горнорудных предприятий [Машковцев и др., 2008; Темнов, Пикалова, 2013].

Экономическая целесообразность освоения ниобиевых месторождений РФ определяется целым рядом показателей, среди важнейших из которых можно назвать: природно-территориальную доступность, относительно простой минеральный состав руд, из которых можно получать максимально ликвидные товарные продукты в целесообразном количестве, наличие рациональных технологических решений по обогащению и переделу руд. Среди ниобиевых месторождений этим показателям в значительной мере отвечают объекты Зиминского рудного района в Иркутской области. Здесь расположены территориально сближенные ниобиевые и комплексные ниобийсодержащие месторождения – крупное Белозиминское, среднее по масштабу запасов Большетагнинское и мелкое Среднезиминское, суммарный ресурсный потенциал которых является самым значительным в России (44,6% балансовых запасов кат. А+В+С<sub>1</sub>).

Руды Большетагнинского месторождения, в отличие от всех известных в РФ месторождений ниобия, связаны не с собственно коренными карбонатитами или развитыми по ним корадами выветривания (КВ), как обычно в мире, а с силикатными метасоматитами карбонатитового комплекса, и представляют собой **новый потенциально-промышленный тип ниобиевых руд**, которые в мире не обрабатываются. Для руд Большетагнинского месторождения потребовалось создание нестандартной технологической схемы их переработки с получением на экономически выгодных условиях востребованной товарной

продукции. Кроме ниобиевой продукции на месторождении возможно получение значительного количества высококалийевого микроклинового концентрата, являющегося ценным сырьем для электрокерамической промышленности, фарфорофаянсового производства и изготовления электродов.

Дополнительными предпосылками для первоочередного освоения Большетагнинского месторождения является простое геологическое строение, благоприятные горно-геологические, гидрогеологические и инженерно-геологические условия, позволяющие вести разработку месторождения открытым способом.

В целом рудные месторождения Зиминского района, из которых, помимо ниобия, можно получать высококачественный апатитовый концентрат, пригодный для производства дефицитных в восточных регионах России фосфатных удобрений, а также редкие земли, флюорит и микроклин, могут стать основой создания единого горно-металлургического центра по производству редкометалльной и ценной неметаллической продукции. Большетагнинское месторождение является вторым по масштабам запасов среди ниобиевых месторождений Зиминского района, поэтому проведение геолого-экономической оценки руд нового типа с учетом возможных технологических решений, а также разработки предложений по эффективному освоению Большетагнинского месторождения и управлению сырьевыми ресурсами Зиминского рудного района чрезвычайно важно и определяет актуальность диссертационной работы.

**Цель работы** – обоснование промышленной значимости нового потенциально-промышленного типа ниобиевых руд Большетагнинского месторождения и выбор оптимальной схемы его освоения.

**Основным объектом исследования** является ниобиевое месторождение Зиминского рудного района – Большетагнинское. Дополнительно к исследованию привлечены локализованные в пределах того же рудного района ниобиевые Белозиминское и Среднезиминское, а также Большетагнинское флюоритовое месторождения.

#### **Основные задачи работы**

1. Обосновать выбор Большетагнинского ниобиевого месторождения как одного из наиболее перспективных для первоочередного освоения в современных условиях.

2. Выявить и проанализировать факторы, влияющие на эффективность освоения Большетагнинского месторождения ниобия.

3. Проанализировать эффективность альтернативных технологических решений по переработке руд для выбора оптимального варианта применительно к условиям Большетагнинского месторождения.

4. Выполнить геолого-экономическую оценку целесообразности освоения Большетагнинского ниобиевого месторождения с учетом инновационного комплекса технологических решений.

5. Обосновать промышленную значимость Большетагнинского месторождения ниобия в современных рыночных условиях России.

6. Разработать рекомендации по повышению эффективности освоения месторождений Зиминского рудного района в целом.

**Научная новизна** диссертационной работы заключается в следующем:

– выполнен сравнительный анализ современных геологических и минералого-технологических данных по ниобиевым месторождениям России и зарубежным объектам (Бразилии, Канады) с целью объективной оценки потенциала освоения отечественной минерально-сырьевой базы ниобия;

– предложен экономический критерий оптимальности отдельного блока технологической схемы – показатель затратности, на основе которого выполнен обоснованный выбор наиболее эффективного комплекса технологических решений;

– обоснована целесообразность промышленного освоения Большетагнинского месторождения на основе применения экономически эффективной инновационной технологии переработки руд;

– разработана научно-обоснованная экономическая модель освоения минерально-сырьевой базы Зиминского рудного района в Иркутской области с оценкой эффективности работы горно-обогатительного и химико-металлургического комплексов.

**Научное и практическое значение исследования**

– на основе проведенной геолого-экономической оценки Большетагнинского месторождения обоснованы разведочные кондиции для подсчета запасов; подсчитанные по данным кондициям запасы утверждены ГКЗ и учтены ГБЗ;

– намечены пути повышения инвестиционной привлекательности Белозиминского месторождения: применение усовершенствованной технологии обогащения руд и переработки концентратов, дальнейшая переработка получаемого в качестве товарной продукции апатитового концентрата на фосфорные удобрения (аммофос) и редкоземельный концентрат;

– на основе проведенной экономической оценки доказана целесообразность освоения отечественных месторождений ниобия с целью снижения импортной зависимости предприятий России по одному из остродефицитных стратегических редких металлов, и оценена возможность его полного импортозамещения;

– проведена переоценка месторождений Зиминского рудного района в современных экономических условиях, на основе которой сделан вывод о его высоком потенциале и возможности создания на его базе крупного центра добычи и производства широкой номенклатуры редкометалльной и сопутствующей товарной продукции.

**Методы исследования.** Исследования носили комплексный характер и включали в себя: анализ и научное обобщение геологических, технологических, геолого-экономических материалов; маркетинговые исследования; экономический и инвестиционный анализы. Автором использованы результаты минералого-аналитических исследований и технологических испытаний руд, выполненных в ФГУП «ВИМС».

## **Научные положения, выносимые на защиту**

1. Совокупность особенностей геологического строения и минералогическо-технологических характеристик руд нового потенциально-промышленного типа ниобиевых руд в силикатных метасоматитах карбонатитового комплекса позволяет рекомендовать Большетагнинское месторождение как наиболее перспективный в современных условиях источник получения ниобия в России.

2. Обоснована экономически оптимальная комбинированная схема переработки руд Большетагнинского месторождения, включающая предварительную крупнокусковую радиометрическую сепарацию, специальную рудоподготовку, гравитационно-магнитно-флотационное обогащение, нестандартную схему химико-металлургического передела продуктов обогащения с получением в качестве товарных продуктов феррониобия, микроклинового, апатитового и уранового концентратов.

3. Геолого-экономическая оценка нового типа ниобиевых руд, выполненная на основе разработанной экономической модели месторождения и включающая оценку экономической эффективности сценариев освоения Большетагнинского месторождения и Зиминского рудного узла в целом на базе единого горно-металлургического комплекса, с учетом различных рыночных ситуаций позволяет утверждать о его промышленной значимости.

## **Фактический материал и личный вклад**

В основу диссертации положены результаты научно-исследовательских работ, а также материалы работ по государственным контрактам и хозяйственным договорам, выполненных автором в 2009-2015 гг. в рамках деятельности Научно-образовательного центра «Рудная геология, минералогия и геохимия» по направлению «Прогнозирование, поиски и изучение месторождений стратегических видов минерального сырья и подготовка кадров высшей квалификации для атомной энергетики» на кафедре геологии месторождений полезных ископаемых МГРИ-РГГРУ и в отделе геолого-экономической и экологической оценки месторождений ФГУП «ВИМС». Автор являлся одним из исполнителей работ по геолого-экономической переоценке Белозиминского и оценке Большетагнинского месторождений, проведенной на основе разработанных современных технологий переработки руд, участником разработки геолого-экономических и организационных мероприятий по подготовке минерально-сырьевой базы для крупного химико-металлургического производства в Иркутской области, а также рекомендаций по ее освоению. В работе использованы: данные фондовых геологических отчетов, материалы по технико-экономическому обоснованию разведочных кондиций; правовые и методические документы, действующие в сфере недропользования; результаты минералого-аналитических исследований и укрупненных лабораторных технологических испытаний, выполненных сотрудниками структурных подразделений ФГУП «ВИМС» и ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П.Бардина».

**Апробация работы и публикации.** Результаты исследования и основные положения диссертации докладывались и обсуждались на научно-практических конференциях и советах: II научно-практической конференции «Геология,

геофизика и минеральное сырье Сибири» (Новосибирск, 2015 г.); научной конференции с международным участием «Новые подходы в химической технологии переработки минерального сырья. Применение процессов экстракции и сорбции» (Санкт-Петербург, 2013 г.); XI Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле» (Москва, 2013 г.); IX Конгрессе обогатителей стран СНГ (Москва, 2013 г.); заседании Ученого совета ФГУП «ВИМС», посвященном рассмотрению результатов работ, выполненных по объекту «Технологическая и геолого-экономическая переоценка Белозиминского и Большетагнинского месторождений» (Москва, 2013 г.); III и IV научно-практических конференциях молодых ученых и специалистов (Москва, ВИМС, 2011, 2012 гг.).

Основные результаты диссертации опубликованы в 12 научных работах, в том числе 5 – в изданиях по перечню ВАК Минобрнауки РФ.

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, изложенных на 136 страницах машинописного текста; списка литературы из 103 наименований; содержит 15 таблиц и 27 рисунков. *Введение* содержит информацию об актуальности, целях и задачах исследования; показаны научная новизна, практическая значимость работы и личный вклад автора. В *первой главе* приведены существующие классификации месторождений ниобия. Во *второй главе* на основе современных данных о геологическом строении объектов и минералого-технологических особенностях их руд проведен сравнительный анализ некоторых отечественных и зарубежных месторождений ниобия. *Третья глава* содержит общую характеристику Большетагнинского месторождения ниобия. В *четвертой главе* проведен экономический анализ отдельных альтернативных блоков технологической схемы с выбором оптимальных. *Пятая глава* посвящена геолого-экономической оценке Большетагнинского месторождения и моделированию вариантов его промышленного освоения, в том числе совместно с другими сырьевыми объектами Зиминского рудного района, в различных рыночных ситуациях. В *заключении* перечислены основные научные и практические результаты работы.

**Благодарности.** Автор выражает глубокую признательность своему научному руководителю д.г.-м.н. Л.З. Быховскому за руководство, ценные замечания и редакцию научной работы. Диссертант сердечно благодарит к.г.-м.н. А.В. Темнова за помощь в процессе совместной работы, содержательные консультации и постоянную поддержку. За совместное выполнение работ, профессиональные советы, конструктивные замечания и дружеское участие в обсуждении аспектов рассмотренной в диссертации проблемы автор искренне благодарен к.т.н. Е.Г. Лихникевич, к.т.н. Н.Ю. Стенину, к.х.н. С.И. Ануфриевой, Л.П. Тигунову, к.г.-м.н. Г.И. Россману, к.г.-м.н. Л.В. Спорыхиной, д.г.-м.н. Р.В. Голевой, к.г.-м.н. С.Д. Потанину. Особую признательность автор выражает своим коллегам – сотрудникам отдела геолого-экономической и экологической оценки месторождений и технологического отдела ФГУП «ВИМС», а также сотрудникам ФГУП «ИМГРЭ» и Института ферросплавов и техногенного сырья им. академика Н.П. Лякишева.

## ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

***Первое защищаемое положение.* Совокупность особенностей геологического строения и минералого-технологических характеристик руд нового потенциально-промышленного типа ниобиевых руд в силикатных метасоматитах карбонатитового комплекса позволяет рекомендовать Большетагнинское месторождение как наиболее перспективный в современных условиях источник получения ниобия в России.**

Главным источником ниобия в мире являются месторождения, генетически связанные с массивами ультраосновных щелочных пород и карбонатитов (УЩК) и локализованные либо непосредственно в самих карбонатитовых комплексах (Сент-Оноре, Ока, Белозиминское и др.), либо в корях выветривания (КВ), развитых по карбонатитовым породам (Араша, Каталан, Томтор, Чуктукон и др.).

Породы формации УЩК образуют массивы центрального типа, с которыми связаны разнообразные по минеральному составу месторождения. Рудоносные на ниобий массивы отличаются относительно небольшими размерами, характеризуются овальной формой и зональным строением с размещением карбонатитов в центре массива чаще в виде штоков, размеры которых колеблются от 2 до 40 км<sup>2</sup> и нередко сопровождаются жилами, дайками дугообразной формы [Быховский, Потанин, 2009].

В коренных породах *ниобиевые месторождения* представлены одной или несколькими сближенными, обычно крутопадающими рудными зонами, которые располагаются, как правило, в пределах карбонатитовых штоков (Сент-Оноре, коренные руды Белозиминского месторождения). Значительно реже – на контактах карбонатитов с интрузивными и вмещающими породами. Монометалльное ниобиевое оруденение в силикатных метасоматических образованиях – микроклинитах и слюдитах по ультраосновным щелочным породам выявлено только в Большетагнинском месторождении (рис. 1).

Обычно рудные зоны четких геологических границ не имеют и оконтуриваются по результатам опробования. По минеральному составу на ниобиевых месторождениях наиболее часто встречается *апатит-пирохлоровое оруденение в карбонатитах*, где основной полезный компонент – ниобий, попутные – фосфор, тантал, редкие земли. Структура руд мелковкрапленная, текстура полосчатая, массивная. Руды эксплуатируемых мировых месторождений характеризуются хорошими технологическими свойствами. В месторождениях РФ руды этого типа характеризуются низкими содержаниями пентаоксида ниобия (от 0,15-0,25 до 0,4%). Однако, учитывая, что в мире успешно отрабатываются подземным способом руды с содержанием пентаоксида ниобия 0,55-0,65%, (Сент-Оноре, Канада), отнесение более бедных отечественных руд к промышленному типу, пригодному к открытой отработке, представляется вполне оправданным.

*Апатит-пирохлоровые руды в микроклинитах* в мире не известны. В РФ с данным типом руд известно лишь Большетагнинское месторождение.

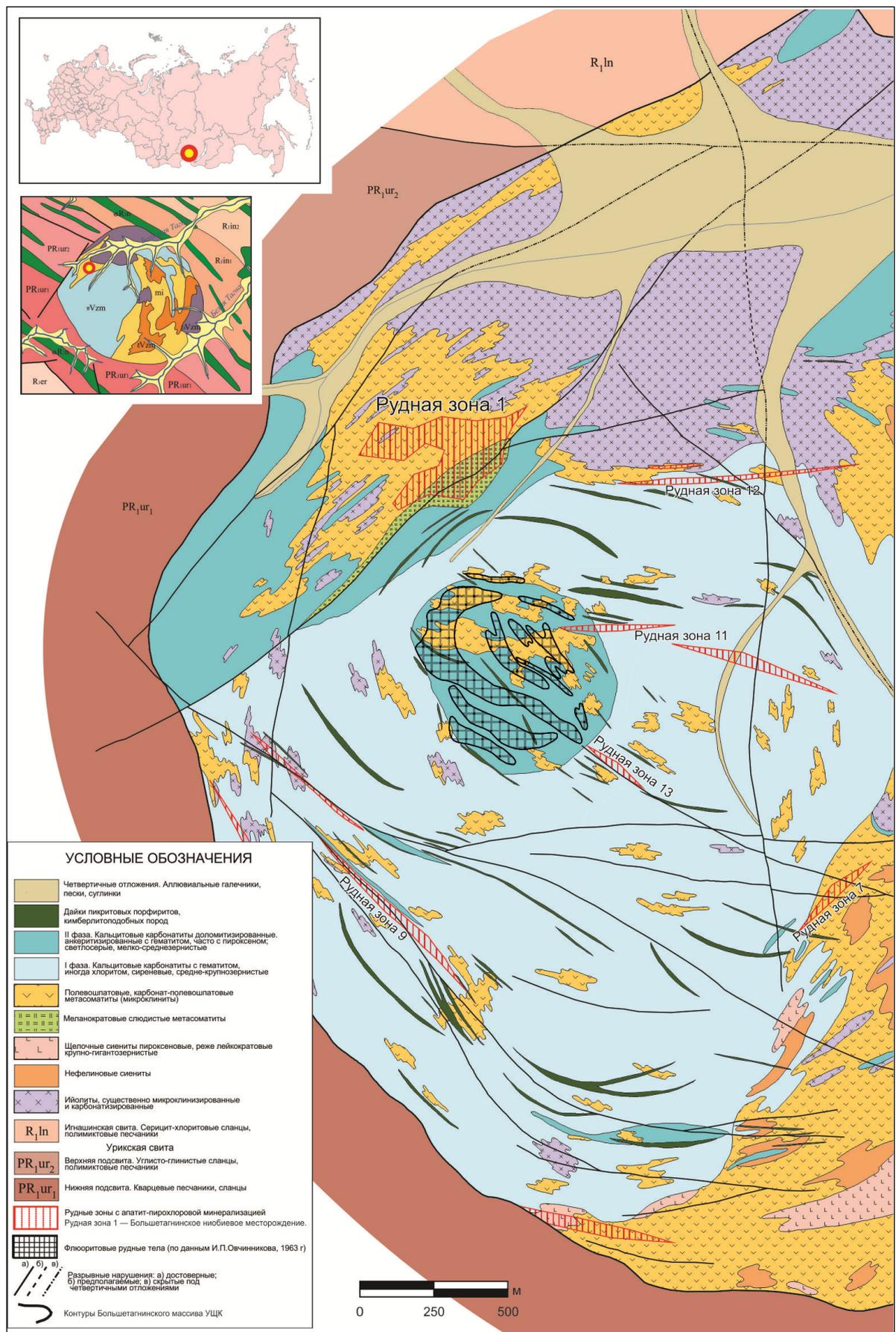


Рис. 1. Геологическая карта Большетажнинского массива ультраосновных щелочных пород и карбонатов (по Василенко А.А. (1993 г.), с дополнениями Потанина С.Д. (2012 г.))

Второй промышленный тип ниобиевых руд – металлоносные коры выветривания по редкометалльным карбонатитам. Известно, что по рудоносным коренным породам формируются КВ, характеризующиеся более высокими содержаниями полезных компонентов, чем в первичных рудах. Это в полной мере относится и к КВ по карбонатитам с ниобиевой минерализацией.

Месторождения в КВ карбонатитов широко развиты в мире. Их типичные представители: Араша (Бразилия), Чуктуконское, Белозиминское (Россия). КВ либо полностью перекрывают карбонатитовый шток (Араша, Чуктуконское) и мощность этих образований достигает 70-120 м, либо развита, вернее, сохранилась частично, как на Белозиминском месторождении. Типовой разрез латеритных КВ состоит из двух зон: верхней, сложенной остаточными охрами, и нижней, представленной лимонит-франколитовыми и лимонит-кварцевыми породами. Большая часть разреза коры выветривания сложена рыхлыми охрами, где минералы находятся в тонкодисперсном состоянии и имеют преобладающие размеры – 0,044 мм. В верхней зоне – зоне выщелачивания – растворяются карбонаты и апатит, а высвобождающийся фосфор частично осаждается в виде вторичных водных фосфатов (горсейскит, гоацит, флоренсит) и монацита и частично выносится и переотлагается в нижней зоне – зоне цементации – в виде франколита. Первичный пироклор в условиях глубокого химического выветривания замещается вторичными стронцио- и бариопироклорами. Среднее содержание полезных компонентов в КВ возрастает до (масс. %):  $Nb_2O_5$  – 1-2,5 (до 5),  $TR_2O_3$  – 4-6,  $Y_2O_3$  – 0,1-0,4. Руды КВ обычно обогащены железом и реже марганцем [Лапин, Толстов, 1995].

С целью определения наиболее ценного типа руд с точки зрения получения отечественной ниобиевой продукции на экономически выгодной основе проанализированы геологические и минералого-технологические особенности наиболее известных ниобиевых месторождений России, связанных с массивами УЩК: Большетагнинского (Иркутская обл.), Белозиминского (Иркутская обл.), Татарского (Красноярский край), Томторского (Республика Саха (Якутия)), Чуктуконского (Красноярский край) с учтенными ГБЗ запасами ниобия в сравнении с зарубежными разрабатываемыми объектами Араша (Бразилия) и Сент-Оноре (Канада). Все перечисленные месторождения, кроме Татарского, локализованы в массивах УЩК зонально-кольцевого строения. Татарский комплекс – типичная линейная зона щелочных метасоматитов и карбонатитов.

Отечественное Большетагнинское месторождение и канадское Сент-Оноре расположены непосредственно в карбонатитовых комплексах. Белозиминское месторождение сложено двумя типами руд: коренными в карбонатитах и экзогенными в остаточных, частично перемытых КВ, развитых по карбонатитам. На Татарском, Томторском и Чуктуконском месторождениях (Россия) и месторождении Араша (Бразилия) промышленное оруденение связано с корами выветривания карбонатитов. Рудные зоны эндогенных месторождений Белозиминское и Сент-Оноре расположены в пределах карбонатитового штока, Большетагнинского месторождения – в приконтактных метасоматитах – микроклинитах и слюдитах (см. рис. 1).

Месторождение Араша характеризуется уникальным масштабом богатого оруденения (2,5% Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), Сент-Оноре – крупное с рядовыми рудами (0,42% Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). Масштаб оруденения, размер и морфология рудных тел и содержание ниобия в рудах отечественных месторождений представлены в табл. 1. Там же дана характеристика гидрогеологических и инженерно-геологических условий данных объектов.

Основным минералом-концентратом ниобия в рудах всех рассматриваемых месторождений является пирохлор. И для всех них технология получения ниобиевой продукции в общем виде включает глубокое обогащение (часто магнитными и флотационными, реже гравитационными методами) и последующие гидро- и пирометаллургические переделы продуктов обогащения. При этом, технологические свойства руд эксплуатируемых в настоящее время месторождений Араша и Сент-Оноре, а также разрабатываемого до 2013 г. Татарского месторождения хорошо изучены, и разработаны экономически эффективные технологии их переработки с получением ликвидной товарной ниобиевой продукции (феррониобия стандартного сорта).

Для руд коры выветривания Белозиминского месторождения также разработаны технологические схемы переработки, которые были апробированы при опытно-промышленной отработке руд КВ. В 2008-2012 гг. в результате проведенных ФГУП «ВИМС» работ по переоценке объекта технология была усовершенствована, а ее эффективность подтверждена экономическими расчетами. В рамках тех же работ была разработана эффективная технология переработки руд Большетагнинского месторождения, позволяющая получать в качестве основного товарного продукта феррониобий, не уступающий по качеству мировым аналогам [Лихникевич и др., 2014, Стулов и др., 2012].

Разработанные на настоящий момент различными институтами технологии переработки руд Чуктуконского и Томторского месторождений позволяют получать ликвидную ниобиевую продукцию, но их экономическая эффективность в современных условиях в большинстве случаев не оценена.

Таким образом, проведенный сравнительный анализ некоторых отечественных и зарубежных ниобиевых месторождений показал, что по геологической характеристике Белозиминское месторождение сопоставимо с разрабатываемым в настоящее время месторождением Сент-Оноре. В Белозиминском месторождении содержание в рудах основного полезного компонента – пентаоксида ниобия практически в 2 раза ниже, однако его преимущество по сравнению с Сент-Оноре – возможность отработки более дешевым открытым способом. Для данного типа руд существует апробированная технология обогащения и последующего передела, как показывает зарубежная практика – с положительным экономическим эффектом.

Чуктуконское месторождение, являясь генетическим аналогом месторождения Араша, уступает ему по содержанию в рудах Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> практически в 4 раза, и в настоящий момент недостаточно изучено как геологически, так и технологически. К тому же возможные объемы производства ниобиевой продукции будут напрямую зависеть от спроса и, следовательно, объемов производства другого основного полезного компонента руд – редкоземельных металлов.

Таблица 1

Сравнительный анализ геологического строения и качества руд некоторых отечественных месторождений ниобия,  
генетически связанных с массивами УЦК

Характеристики	Большетагнинское	Белозиминское		Чуктуконское	Татарское	Томторское, уч. Буранный
		КВ	коренные			
1	2	3	4	5	6	7
Расположение объекта, освоенность района	Ирк. обл., 180 км от авто и ж/д, 110 – от н.п. Практически не освоен, сейсмоопасен	Ирк. обл., 160 км от авто и ж/д, 90 – от н.п. Практически не освоен, сейсмоопасен		Красн. край. 110 км от н.п., 180 – от пристани, 340 – от ж/д. Мало освоен	Красн. край. 110 км от ж/д, 150 – от пристани. Достаточно освоен	Якутия. 140 км от н.п., 230 – от пристани. Мало освоен
	3	3	3	4	5	4
Степень геологической изученности	Оценочная стадия. На балансе основная часть запасов	Детальная разведка. На балансе основная часть запасов. Велась опытная добыча	Детальная разведка. На балансе основная часть запасов	Оценочная стадия на небольшом участке объекта, остальное – поисково- оценочные работы. Ведутся ГРП	Детальная разведка. До 2013 г. разрабатывался ОАО «Стальмаг»	Предварительная разведка. На балансе запасы небольшого участка. Ведутся ГРП
	3	5	4	2	5	2
Сложность геологического строения	Вторая	Вторая	Вторая/третья. Залегают под КВ	Вторая	Третья	Вторая
	4	4	3	4	3	4
Nb как приоритетный полезный компонент	Nb – основной, попутные – P, микроклин, U	Основные Nb, P; попутные – Ta, TR	Основной Nb; попутные – Ta, TR, P	Основные TR, Nb; попутные – Fe, Mn, P	Nb основной, попутные –P, вермикулит	Основные Nb, TR, Sc; попутные – Ti, V, P
	5	4	4	3	5	3
Содержание Nb в рудах, %	0,997	0,564	0,249	0,60	0,7587	6,71
	4	2	1	2	3	5
Масштаб месторождения (по Nb)	среднее	среднее	крупное	мелкое (на балансе стоят около 3% от общих ресурсов)	мелкое	мелкое (на балансе стоят 9% от общих ресурсов)
	4	4	5	3	2	3

1	2	3	4	5	6	7
Морфология и размеры рудных тел	Линзообразные наклонные залежи в микроклинитах и слюдитах (с выходом на поверхность). По простиранию – 420-512 м, по падению – 330-400 м, мощность – 34-51 м	Пласто-линзообразные горизонтально ориентированные залежи. Уч. Основной – 3600×1100 м, мощность – 20,3 м	Линзовидная крутопадающая. По простиранию – 100-1400 м, по падению – 170-450 м, мощность – 10-300 м	Линзообразная субгоризонтальная. 1000×300 м, средняя мощность – 30 м	Линзовидная, лентовидная крутопадающая. По простиранию – 667-2045 м, по падению – 2-88 м, мощность – 21-32 м	Субгоризонтальные залежи. Уч. Буранный – 2600×1400 м, средняя мощность – 10,1 м. Глубина залегания – от 8,5 до 160,0 м.
	5	5	3	5	4	5
Гидрогеологические и инженерно-геологические условия	Несложные. Породы скальные крепкие	Сложные: по площади протекает река. Породы рыхлые, влажность 23,5%	Средние. Породы скальные, крепкие	Не изучены, по площади объекта протекает река. Породы рыхлые и полускальные, влажность 25%	Несложные. Породы рыхлые, влажность 21,5-26,5%	Несложные (многолетняя мерзлота). Породы скальные, руды льдистые, при оттаивании влажность 21%
	5	2	3	3	4	4
Технологическая изученность руд	Разработана технология с получением FeNb (65% Nb)	Апробированная технология позволяет получать FeNb (59% Nb)	Разработанная технология позволяет получать Nb к-т (46,3% Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	Разработанная технология позволяет получать ниобиевый продукт (25% Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) либо Nb-Mn сплав	Технология разработана и применялась. Конечный продукт – FeNb	Разработанная технология позволяет получать оксиды Nb, Sc, PЗМ
	4	4	3	2	5	3
Экологическая безопасность	Повышенная радиоактивность промежуточного продукта (Nb к-та)	Повышенная радиоактивность руд и к-та. При плавке – U-, Th-содержащие отходы	Повышенная радиоактивность Nb к-та	Повышенная радиоактивность руд. Твердые Th-содержащие отходы	Повышенная радиоактивность Nb к-та. При плавке – Th-содержащие отходы	Повышенная радиоактивность руд. U-, Th-содержащие отходы
	4	3	4	3	3	3
<b>Суммарная оценка</b>	<b>41</b>	<b>36</b>	<b>33</b>	<b>31</b>	<b>39</b>	<b>36</b>

Экспертная оценка каждой характеристики на основе всестороннего анализа имеющегося материала по объектам по пятибалльной шкале, где 1 – самая низкая/отрицательная оценка признака, а 5 – самая высокая/положительная.

Аналогично, и на Томторском месторождении переотложенных кор выветривания с богатой полиминеральной редкометалльно-редкоземельной минерализацией стоит сложная задача полной реализации широкого спектра товарной продукции, которая будет сопутствовать получению ниобиевого сырья.

В результате проведенного методом экспертных оценок сравнительного анализа особенностей геологического строения и качества руд отечественных месторождений ниобия среди них выделены наиболее перспективные (см. табл. 1). По сумме баллов первое место занимает Большетагнинское ниобиевое месторождение. За ним следует Татарское месторождение, долгое время служившее единственным источником отечественного феррониобия, но в настоящее время неэксплуатируемое.

Большетагнинское месторождение по своим геологическим характеристикам обособлено от всех прочих рассмотренных ниобиевых месторождений, руды его относятся к новому потенциально-промышленный типу – в силикатных метасоматитах карбонатитовых комплексов преимущественно с очень тонкой вкрапленностью рудных минералов. По сравнению с другими отечественными месторождениями ниобия оно характеризуется достаточно высокими содержаниями  $Nb_2O_5$ , практическим отсутствием других рудных концентратов и может быть полностью отработано открытым способом. Для руд месторождения с учетом их уникального вещественного состава и изменчивости технологических свойств разработана схема эффективного обогащения и последующего передела концентратов с использованием нетрадиционного комплекса технологических решений, что делает месторождение наиболее перспективным источником получения ниобия в современных условиях.

***Второе защищаемое положение.* Обоснована экономически оптимальная комбинированная схема переработки руд Большетагнинского месторождения, включающая предварительную крупнокусковую радиометрическую сепарацию, специальную рудоподготовку, гравитационно-магнитно-флотационное обогащение, нестандартную схему химико-металлургического передела продуктов обогащения с получением в качестве товарных продуктов феррониобия, микроклинового, апатитового и уранового концентратов.**

Многокомпонентность руд редкометалльных месторождений требует применения сложных комбинированных схем переработки. Технология переработки во многом определяется вещественным составом руд. В настоящее время, накоплен значительный мировой опыт в области механического обогащения редкометалльных руд и химико-технологической переработки полученных концентратов. Руды с идентичным большетагнинским рудам вещественным составом нигде в мире не перерабатываются.

Технологические свойства руд Большетагнинского месторождения с целью создания оптимальных технологических схем получения из них необходимой ниобиевой продукции изучались с конца 80-х годов прошлого века институтами Иргиредмет, Гиредмет и ВИМС. Применялись и анализировались различные методы получения ниобиевых концентратов и последующего их передела.

В процессе выполненных исследований отказались от использования традиционных гравитационного и магнитного обогащения как неэффективных для данного типа тонковкрапленных руд. В качестве первичного обогащения и сортировки руд было признано целесообразным использовать крупнокусковые РКС и РРО руд по уровню содержания в них железа. В целях оптимизации рудоподготовки предлагались варианты стандартного (мокрого) и инновационного (сухого) измельчения с применением центробежно-ударного оборудования. Для получения черного ниобиевого концентрата было признано целесообразным применение глубокого обогащения флотационными методами. Для дальнейшего передела полученных ниобиевых концентратов испытывались и оценивались различные гидрометаллургические технологии: обжиг-кислотная, термохимическая, сернокислотного и солянокислотного выщелачивания, низкотемпературная сульфатизация, различные виды плавки пироклоровых концентратов и пентаоксида ниобия. Также изучались возможности получения из хвостов флотационного обогащения апатитового концентрата и высококачественного микроклинового продукта.

Вариативность рассмотренных схем переработки руд данного типа Большетагнинского месторождения по основному ценному компоненту – ниобию – приведена на рис. 2. Наличие такого множества альтернативных технологических решений усложняет оценку объекта на этапе проведения итоговых технико-экономических расчетов. Поэтому было выполнено экономическое обоснование выбора оптимальных вариантов технологической схемы переработки руд.

Сравнение вариантов производилось на основе расчета показателей эффективности использования каждого из них – промежуточного, либо, при отсутствии такой возможности, интегральных. Под промежуточным показателем эффективности подразумевается показатель, который может быть использован для сравнительной оценки вариантов одного блока технологической схемы, например рудоподготовки. В качестве такого показателя ( $Z_i$ ), можно использовать величину затрат на передел, приходящихся на 1 руб. продукции, получаемой после него [Савицкая, 2009], но дополнительно учитывающую также объем капитальных вложений. Для расчета была предложена следующая формула.

$$Z_i = \frac{(C_u + Z_3) \cdot K_i}{C_k \cdot K_{баз}}, \quad (1)$$

где:  $Z_i$  – затратность передела, усл. ед.;

$C_u$  – стоимость продукта, поступающего на передел, руб.;

$Z_3$  – эксплуатационные затраты на передел, руб.;

$C_k$  – стоимость получаемого после передела продукта, руб.;

$K_i$  – капитальные затраты на передел, руб.;

$K_{баз}$  – капитальные затраты на передел по базовому варианту, руб.

Все перечисленные величины рассчитываются при заданной производительности по добыче и переработке руд, равной для всех оцениваемых вариантов, 1 млн. т в год.

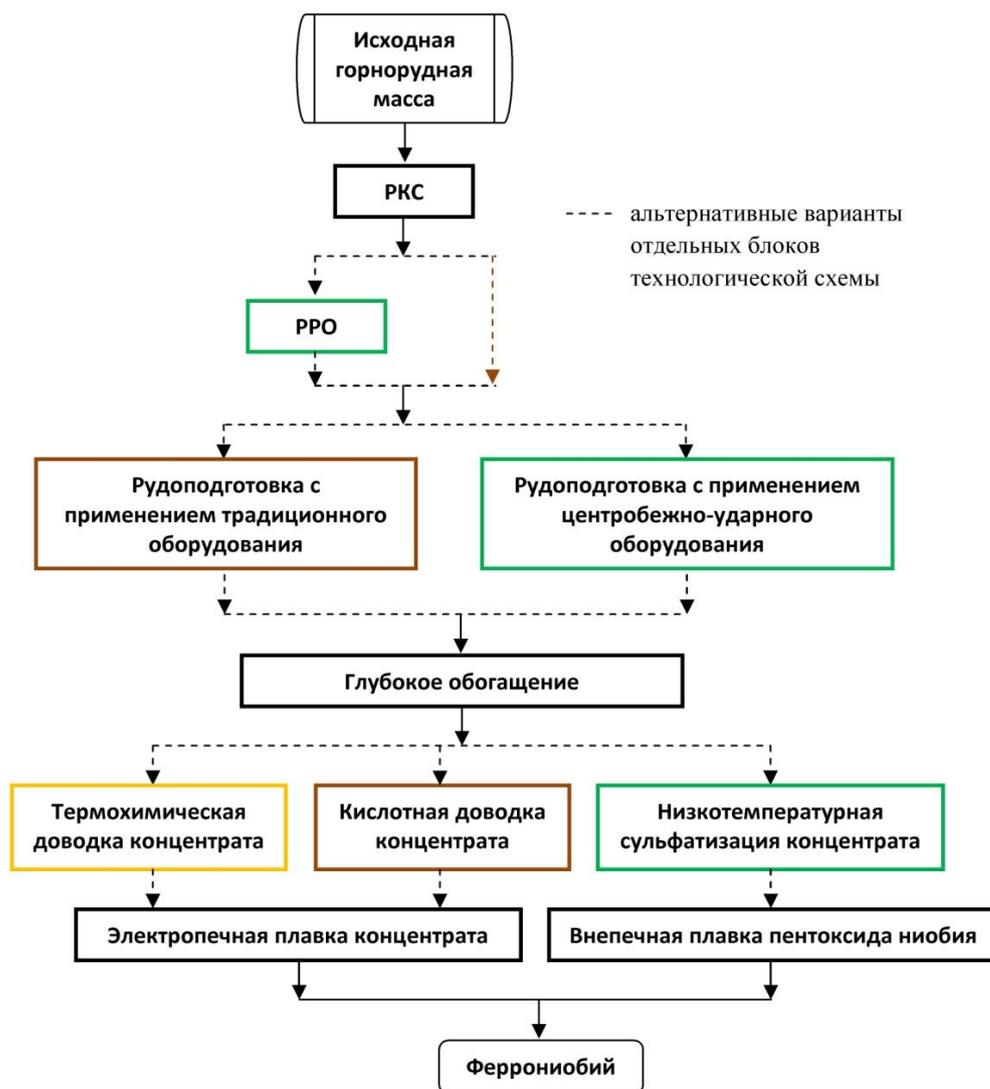


Рис. 2. Варианты технологии переработки руд Большетагнинского месторождения

Вариант, характеризующийся наименьшим значением показателя  $Z_i$  среди альтернативных, является наиболее эффективным. При наличии для вариантов одинаковых значений, используемых в формуле (1) показателей, она может быть упрощена путем их сокращения.

Интегральные показатели эффективности освоения месторождения при применении того или иного технологического решения рассчитывались в соответствии с существующими методиками [Методические рекомендации по оценке..., 1999].

При подготовке ТЭО разведочных кондиций для подсчета запасов руд Большетагнинского месторождения из множества известных традиционных методов обогащения ниобиевых руд и передела концентратов были выбраны наиболее эффективные и приняты в виде базовой комплексной схемы. В целях оптимизации ее применительно к особенностям руд БТМ проведена дополнительная экономическая оценка альтернативных методов: 1) предварительного обогащения, 2) рудоподготовки, 3) технологии передела получаемых концентратов.

В результате было доказано, что применение РРО экономически целесообразно, поскольку сокращает объем перерабатываемой рудной массы и уменьшает годовые издержки. Экономическая эффективность применения прогрессивного измельчительного оборудования показана в табл. 2. Результаты расчета показателя затратности *химико-металлургического передела* (рис. 3) свидетельствует о том, что сульфатизация с получением пентаоксида ниобия и его последующая внепечная алюминотермическая плавка на феррониобий с экономической точки зрения является оптимальной технологией переработки флотационного пирохлорового концентрата.

Таблица 2

Сводная таблица сопоставления вариантов рудоподготовки

Показатель	Варианты рудоподготовки	
	базовый (1)	ударный (2)
Производительность по добыче руд, тыс. т	1 000	
Величина годовых эксплуатационных затрат, млн. руб.	90,4	74,6
Стоимость оборудования отделения рудоподготовки, млн. руб.	184,5	169,2
Стоимость измельченного материала, млн. руб.	100,0	110,0
Затратность, усл. ед.	0,90	0,62

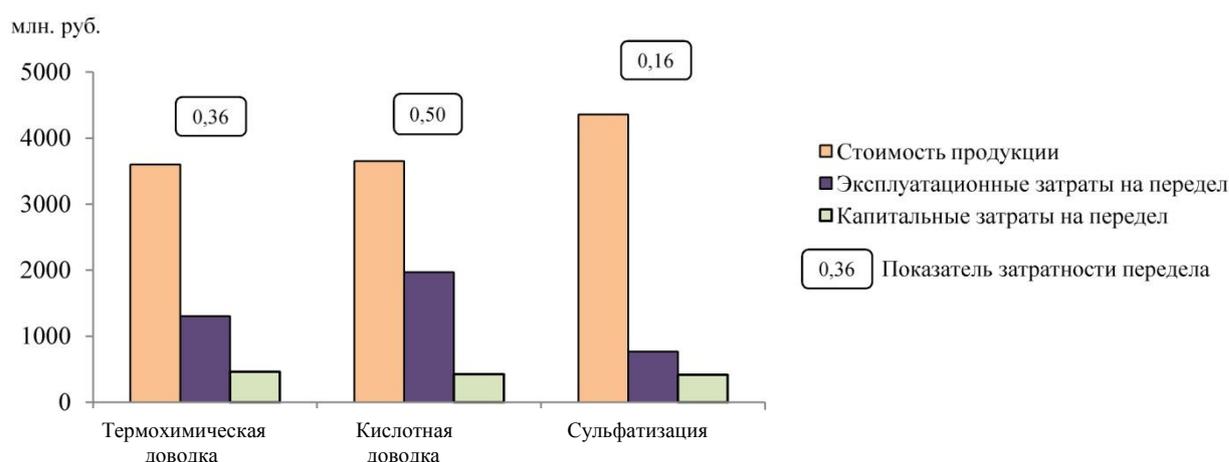


Рис. 3. Результаты экономической оценки альтернативных технологий химико-металлургической переработки флотационного концентрата

В итоге проведенная оптимизация по экономическому критерию позволила обосновать применение следующих технологических решений: рентгенорадиометрического обогащения (РРО), инновационного способа рудоподготовки (с применением центробежно-ударного оборудования), а также эффективность получения основной товарной продукции – феррониобия стандартного сорта через пентаксид ниобия, вопреки общемировой практике.

Так как в проектный контур карьера первоочередной отработки попадают в основном (~70%) руды микроклинитового типа, все технологические решения рассматриваются только для этого типа. На приведенной схеме (см. рис. 2) блоки оптимального по экономическому критерию комплекса выделены зеленым цветом.

**Третье защищаемое положение.** Геолого-экономическая оценка нового типа ниобиевых руд, выполненная на основе разработанной экономической модели месторождения и включающая оценку экономической эффективности сценариев освоения Большетагнинского месторождения и Зиминского рудного узла в целом на базе единого горно-металлургического комплекса, с учетом различных рыночных ситуаций позволяет утверждать о его промышленной значимости.

Для удовлетворения текущей потребности металлургической промышленности России требуется около 3 тыс. т ниобия в феррониобии. Практически весь феррониобий импортируется. Потребность страны в ниобии в виде  $Nb_2O_5$  не превышает 300 т и удовлетворяется Соликамским магниевым заводом.

Потребность в ниобии к 2020 г., рассчитанная в соответствии с утвержденной приказом Минпромторга России от 18.03.2009 г. № 150 «Стратегией развития металлургической промышленности на период до 2020 года», может составить 5-6 тыс. т, а в соответствии с Госпрограммой «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности» до 14 тыс. т ежегодно.

Из руд Большетагнинского месторождения при ежегодной добыче руд равной 1 млн. т возможно производить около 3,4 тыс. т ниобия в феррониобии, что полностью покрывает текущую потребность в нем. При максимальной по горнотехническим условиям производительности объем производства феррониобия может быть увеличен более чем в 3,5 раза до 12,5 тыс. т ниобия.

**Технико-экономические расчеты эффективности** освоения Большетагнинского месторождения ниобия при производительности по добыче руд, равной 1 млн. т, учитывающие применение оптимизированного комплекса технологических решений, дали положительные результаты (табл. 3). При этом объект характеризуется не только высокой инвестиционной привлекательностью, но и бюджетной эффективностью, составляющей около 900 млн. руб. в год, и созданием в регионе около 950 новых рабочих мест. Это подтверждает целесообразность вовлечения в освоение объектов с нестандартными и даже уникальными рудами при соответствующем подходе к поиску новых технологических решений и их предварительной экономической оценке.

**Геолого-экономическое моделирование** вариантов изменения специфичных как для горных предприятий в целом, так и для рассматриваемого объекта в частности, факторов позволило оценить «запас прочности» инвестиционного проекта освоения Большетагнинского месторождения (рис. 4). Однофакторный анализ чувствительности показал, что проект наиболее устойчив к изменению первоначальных капитальных вложений. Основным фактором, влияющим на эффективность освоения объекта, является уровень цен на товарную продукцию, а именно на феррониобий – основной товарный продукт, что подтверждено двухфакторным анализом.

Также этим методом доказано, что даже при одновременном наступлении наиболее вероятных отрицательных событий (увеличение капитальных вложений, отсутствие спроса на микроклиновый концентрат, реализация апатитового концентрата по минимальной рыночной стоимости) освоение

месторождения остается рентабельным. Это говорит о достаточно большом «запасе прочности» рассматриваемого инвестиционного проекта.

На основе полученных результатов экономической оценки Большетагнинского месторождения, а также переоценки других объектов, входящих в Зиминской рудный район – Белозиминского (Nb, P, TR), Среднезиминского (Ta, Nb, U) и Большетагнинского флюоритового месторождений (табл. 3), произведенной с использованием данных ТЭО разведочных кондиций и инвестиционных проектов прошлых лет, разработаны и оценены различные **варианты освоения минерально-сырьевой базы ниобия района** в целом на мощностях единого горно-металлургического комплекса.

В зависимости от складывающейся конъюнктуры рынков ниобиевой и попутной продукции предложено такое комбинирование проектных решений по освоению месторождений Зиминского рудного района, при котором будет наиболее полно соблюден принцип комплексности использования недр, но при этом будут получены высокие показатели как коммерческой, так и бюджетной эффективности проекта. Рассмотрены 4 варианта: «сценарий сегодняшнего дня», «сценарий растущего потребления», «сценарий экспортных возможностей» и «сценарий неограниченного спроса».

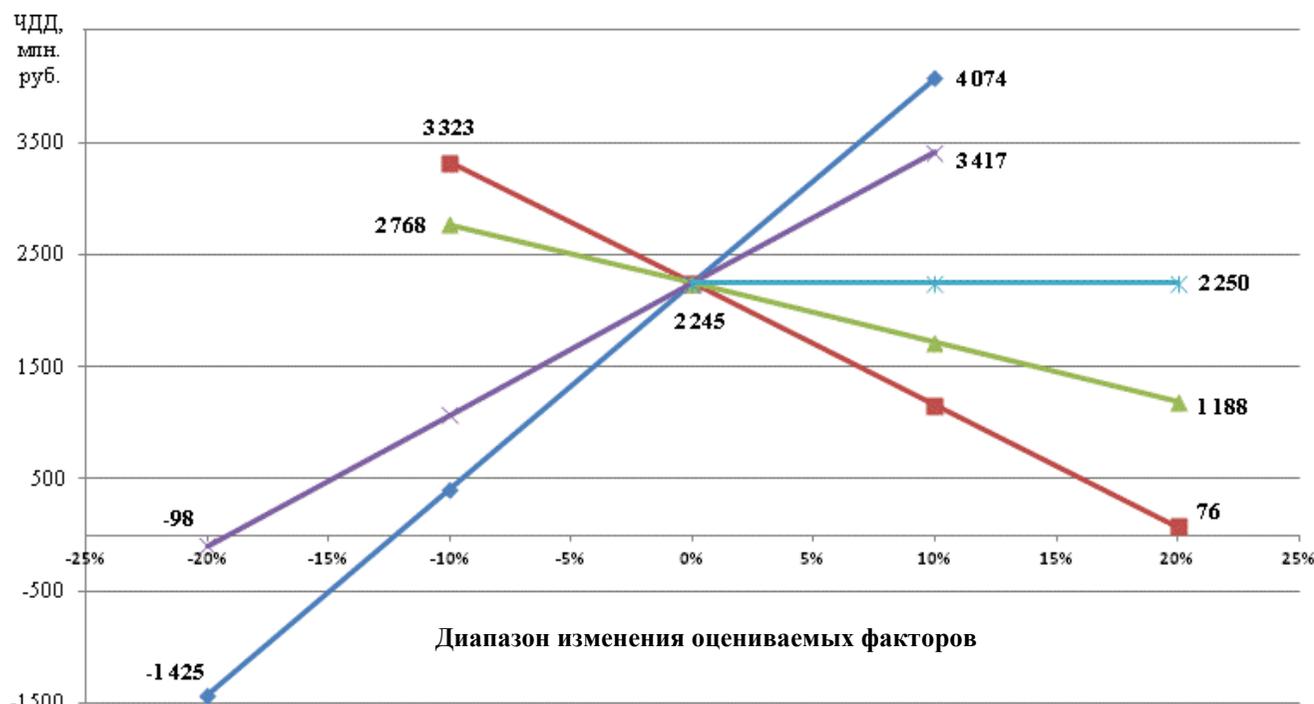
Так как уровень потребления ниобия, в первую очередь, обусловлен развитием металлургической промышленности страны, наиболее перспективным и реальным вариантом освоения минерально-сырьевой базы рудного района является «сценарий растущего потребления». Он предполагает наличие стабильного роста потребности отечественного металлургического комплекса в феррониобии, которая к 2020 г., согласно утвержденной приказом Минпромторга России от 18.03.2009 г. № 150 «Стратегии развития металлургической промышленности на период до 2020 года», может составить 5-6 тыс. т. Также данным сценарием предполагается, что к 2020 г. будет достигнут значительный рост использования фосфорных удобрений агропромышленным комплексом регионов Сибири и Дальнего Востока до научно-обоснованных показателей их потребления (от 250 до 1100 тыс. т в пересчете на  $P_2O_5$  по различным экспертным оценкам); а объемы производства высококалорийного микроклинового концентрата ограничены текущей внутрироссийской потребностью в нем (не более 20-30 тыс. т в год) отечественных электрокерамических, фарфорофаянсовых и других производств. Ожидание такого увеличения потребности в феррониобии и фосфатных удобрениях предопределяет последовательное освоение Белозиминского и Большетагнинского месторождений горно-металлургическим комбинатом с производством на первом этапе порядка 5 тыс. т феррониобия и более 600 тыс. т апатитового концентрата ежегодно. При этом рентабельность освоения месторождений рудного района, составляющая на первом этапе 23%, на втором этапе повышается до 34%; в регионе может быть создано ~1,7 тыс. новых рабочих мест, а бюджетная эффективность составит до 2 млрд. руб. ежегодно.

Таблица 3

## Основные технико-экономические показатели освоения месторождений Зиминского рудного района

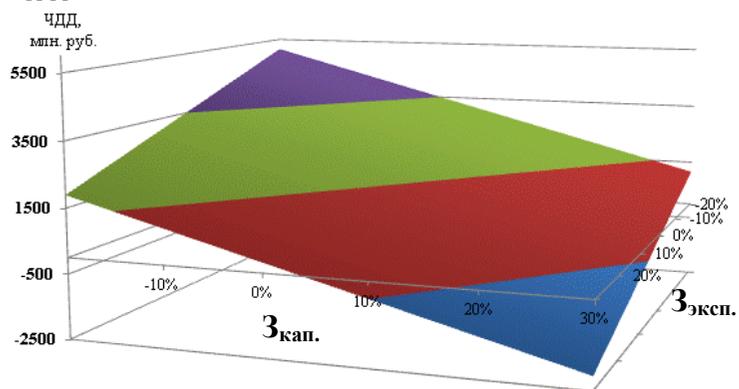
Показатель	Ед. изм.	Месторождение (полезные ископаемые, ценные компоненты)			
		Белозиминское <sup>1</sup> (Nb, P, TR, Ta)	Большетагнинское (Nb, P, микроклин, U)	Большетагнинское (флюорит)	Средне- зиминское (Ta, Nb, U)
Мощность по добыче руды (в пересчете на сухую массу)	тыс. т	2 782	1 000	200	330
Годовой выпуск товарной продукции					
– ниобий в феррониобии стандартного сорта (марка)	т	5 172 (ФН658)	3 390 (ФН660)	–	–
– апатитовый концентрат (36-39 % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	тыс. т	626	43	–	–
– микроклиновый концентрат (K/Na≥100)	тыс. т	–	30	–	–
– сумма оксидов редкоземельных металлов в монацитовом концентрате (40 % ΣTR <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	т	5 980	–	–	–
– оксид урана в урановом химконцентрате (75,6% U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	т	–	15	–	18
– товарный пентаоксид ниобия (99,7 % Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	т	–	–	–	214
– товарный пентаоксид тантала (98 % Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	т	–	–	–	34
– флюоритовый концентрат (92,1 % CaF <sub>2</sub> )	тыс. т	–	–	35	–
– криолит (96-98 % Na <sub>3</sub> AlF <sub>6</sub> )	тыс. т	–	–	25	–
Годовая стоимость товарной продукции <sup>2</sup>	млн. руб.	8 628,3	4 628,6	1 326,8	700,7
Первоначальные инвестиции <sup>3</sup>	млн. руб.	19 832,3	9 560,3	2 444,1	1 543,6
Рентабельность к производственным фондам	%	22,9	18,4	17,3	н/д

<sup>1</sup> руды горизонта охр ОКВ;<sup>2</sup> стоимость товарной продукции принята по рыночным (по апатитовому концентрату – рекомендованной ФАС России) ценам по состоянию на 01.01.2012 г., по ниобиевой продукции принят дисконт 10 % к мировой;<sup>3</sup> включая строительство внешней инфраструктуры (авто- и железнодорожных путей, линий электропередачи и др.).

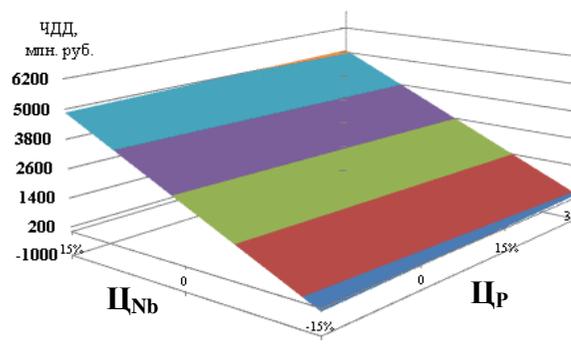


ЧДД – чистый дисконтированный доход  
 $Z_{\text{экс.}}$  – эксплуатационные затраты  
 $Z_{\text{кап.}}$  – капитальные затраты  
 $C_{\text{Nb}}$  – цена ниобия  
 $C_{\text{р}}$  – цена апатита  
 $H_{\text{п}}$  – налог на прибыль  
 $C_{\text{тпгод}}$  – стоимость годового выпуска товарной продукции

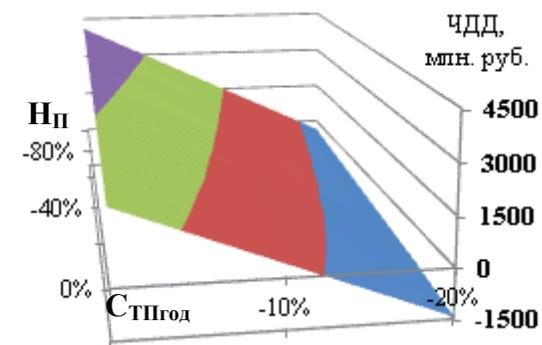
■ Оптимальный диапазон изменения факторов



2. Совокупное влияние на ЧДД эксплуатационных и капитальных затрат



3. Совокупное влияние на ЧДД спроса на товарные продукты



4. Совокупное влияние на ЧДД стоимости товарной продукции и налоговой политики государства

Рис. 4. Оценка «запаса прочности» инвестиционного проекта освоения Большетагнинского месторождения

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований позволяют сделать следующие основные выводы.

1. Сравнительный анализ особенностей геологического строения и качества руд отечественных месторождений ниобия основных геолого-промышленных типов по сравнению с зарубежными позволил выделить среди них наиболее перспективные. Одним из таких объектов является Большетагнинское месторождение ниобия с рудами нового потенциально-промышленного типа – в силикатных метасоматитах карбонатитовых комплексов, где основным полезным компонентом является ниобий, а попутными – микроклин, апатит и уран. Относительно простое геологическое строение, богатые монометалльные руды, простые горнотехнические и гидрогеологические условия характеризуют месторождение с благоприятной стороны. В тоже время высокая технологическая изменчивость руд и тонкая вкрапленность пироклора предопределяет необходимость поиска нестандартных технологических решений.

2. Доказана возможность промышленного освоения сырьевых объектов с новым нетрадиционным типом руд (Большетагнинское месторождения ниобия) на основе применения инновационных способов их переработки и осуществлении обоснованного выбора различных проектных решений (технических, технологических, инфраструктурных). Установлено, что на современном этапе развития техники и технологии в сложившихся рыночных условиях для эффективного освоения Большетагнинского месторождения при производительности по добыче 1 млн. т в год оптимальная технология переработки руд должна включать: крупнопорционную сортировку исходной горнорудной массы с разделением ее на технологические типы, крупнокусковое обогащение каждого сорта руд рентгенорадиометрическим методом, инновационный способ рудоподготовки (дробление в дробилке активного удара EVANKO и сухое измельчение в центробежно-ударных мельницах), глубокое обогащение по флотационно-магнитной схеме, сульфатизацию пироклорового концентрата с получением пентаоксида ниобия и его внепечная алюминотермическую плавку на феррониобий высокого качества.

3. В результате выполненной геолого-экономической оценки Большетагнинского месторождения ниобия с учетом результатов применения комплекса современных методов переработки руд и принятия обоснованных проектных решений доказана инвестиционная привлекательность данного объекта. Проведенный комплекс исследований (минералогических, технологических, маркетинговых и др.) позволил включить данный объект в один ряд с уже известными и перспективными для освоения месторождениями ниобия.

4. Доказана промышленная ценность Большетагнинского месторождения при применении новых подходов к технологии переработки руд нетрадиционного типа. Показано, что освоение месторождения даже при небольшой производительности, ориентированной на существующий внутренний спрос на ниобий, характеризуется приемлемой коммерческой и бюджетной эффективностью.

На основе геолого-экономического моделирования обоснован высокий «запас прочности» проекта, позволяющий нивелировать различные риски, связанные с реализацией проекта.

5. Разработаны рекомендации по реализации минерально-сырьевого потенциала Зиминского рудного района (Иркутская область). В основе модели освоения месторождений района лежат несколько основных сценариев, увязанных с различными рыночными прогнозами, предполагающих создание крупного горно-металлургического предприятия, обеспечивающего глубокую переработку минерального сырья. Показана возможность эффективного производства всего спектра товарной продукции, как основной так и попутной, необходимой для сырьевого обеспечения высокотехнологичных отраслей промышленности страны и агропромышленного комплекса регионов Сибири и Дальнего Востока. Отмечена необходимость государственного участия в организации крупного промышленного производства на базе месторождений Зиминского рудного района.

### **Список опубликованных работ автора по теме диссертации**

1. *Перспективы обеспечения потребностей высокотехнологичных производств России редкометалльным минеральным сырьем / Быховский Л.З., Левченко Е.Н., Онтоева Т.Д., Пикалова В.С., Рогожин А.А. // Разведка и охрана недр. – 2016. – № 9. С. 106-115.*

2. *Минерально-сырьевая база редких металлов Северо-Запада России – основа создания центра редкометалльной промышленности страны / Быховский Л.З., Пикалова В.С. // Разведка и охрана недр. – 2015. – № 1. С. 3-7.*

3. *Задачи дальнейшего изучения Томторского рудного поля с целью повышения его инвестиционной привлекательности / Быховский Л.З., Котельников Е.И., Лихникевич Е.Г., Пикалова В.С. // Разведка и охрана недр. – 2014. – № 9. С. 20-25.*

4. *Сценарии реализации минерально-сырьевого потенциала комплексных редкометалльных месторождений Зиминского рудного района / А.В. Темнов, В.С. Пикалова // Разведка и охрана недр. – 2013. – №7. С. 54-60.*

5. *Разработка технологии выплавки феррониобия и ниобийсодержащих сплавов из концентратов руд Большетагнинского месторождения / П.Е. Стулов, А.Н. Серегин, В.С. Пикалова // Проблемы черной металлургии и материаловедения. – М.: ЦНИИчермет им. И.П. Бардина, 2012. № 4. С. 5-11.*

6. *Перспективы создания крупного химико-металлургического комплекса на базе месторождений Зиминского редкометалльного района (Иркутская область) / Пикалова В.С., Темнов А.В. // Повышение инвестиционной привлекательности комплексных редкометалльных месторождений с целью подготовки их к лицензированию и освоению. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. – М.: ИМГРЭ, 2014. С. 83-84.*

7. Перспективы развития горнодобывающей промышленности на основе ресурсной базы редких металлов северо-запада России / Л.З. Быховский, С.Н. Иванов, **В.С. Пикалова** // Горнодобывающая промышленность Баренцева Евро-Арктического региона – взгляд в будущее: III Международная конференция горнопромышленного комплекса, г. Кировск: сборник докладов. – Мурманск: Северная ТПП, 2014. С. 70-74.

8. Влияние новых технологических решений на эффективность освоения Большетагнинского месторождения ниобия / **В.С. Пикалова**, Н.В. Петрова, Е.Г. Лихникевич // 2-я Российская конференция с международным участием «Новые подходы в химической технологии минерального сырья. Применение экстракции и сорбции» (Санкт-Петербург, СПбГТИ(ТУ)). Материалы научной конференции в 2-х частях. Часть 1. – Апатиты: Изд. Кольского научного центра РАН, 2013. С. 112-114.

9. Роль предварительного анализа устойчивости в повышении эффективности освоения Большетагнинского месторождения ниобия / **Пикалова В.С.** // XI Международная конференция «Новые идеи в науках о Земле» (Москва, МГРИ-РГГРУ). Доклады: в 3 т. Т. 3. – М.: Ваш полиграфический партнер, 2013. – С. 63-64.

10 Оптимизация экономической эффективности технологии переработки нового потенциально-промышленного типа руд Большетагнинского месторождения ниобия / **Пикалова В.С.**, Лихникевич Е.Г., Ануфриева С.И. // IX Конгресс обогатителей стран СНГ. Сборник материалов. Том 2. – М.: МИСиС, 2013. – С. 460-463.

11. Сырьевой потенциал ниобия России в свете современного развития мировой металлургии / **В.С. Пикалова** // Геология, поиски и комплексная оценка месторождений твердых полезных ископаемых. Тезисы докладов четвертой научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. – М.: ФГУП «ВИМС», 2012. – С. 85-87.

12. Оценка влияния различных факторов риска на основные технико-экономические показатели ТЭО кондиций Большетагнинского месторождения / **В.С. Пикалова**, К.В. Колесникова // Комплексное изучение и оценка месторождений твердых полезных ископаемых. Тезисы докладов третьей научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. – М.: ФГУП «ВИМС», 2011. – С. 79-82.