

ЛЕВЧЕНКО ЕЛЕНА НИКОЛАЕВНА

**НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ
МИНЕРАЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ
РЕДКОМЕТАЛЛЬНО-ТИТАНОВЫХ РОССЫПЕЙ**

Специальность 25.00.05 – минералогия, кристаллография

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора геолого-минералогических наук

Москва, 2011

Работа выполнена в Институте минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов (ФГУП «ИМГРЭ»)

Научный консультант: доктор геолого-минералогических наук
Кременецкий Александр Александрович

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук
Котова Ольга Борисовна

доктор геолого-минералогических наук, профессор
Лыгина Талия Зинуровна

доктор геолого-минералогических наук
Ожогина Елена Германовна

Ведущая организация: Учреждение Российской академии наук
Геологический институт КНЦ РАН

Защита состоится 28 октября 2011 г. в 11 часов на заседании диссертационного совета Д 216.005.01 во Всероссийском научно-исследовательском институте минерального сырья им. Н.М.Федоровского (ФГУП «ВИМС») по адресу: 119017, Москва, Старомонетный пер., д. 31.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГУП «ВИМС»

Автореферат разослан «___»_____2011 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Луговская И. Г.

Постановка задач и актуальность исследований. Титан и цирконий относятся к стратегическим видам полезных ископаемых и развитие их сырьевой базы для самообеспечения России остро необходимо. Потребности России в титановом и циркониевом сырье удовлетворяются за счет собственного производства не более чем на 2-3%. Россыпи являются наиболее дешевым источником сырья и в мире служат основным промышленным источником титановых минералов и циркона.

По количеству разведанных запасов и прогнозных ресурсов титана и циркония Россия занимает одно из ведущих мест в мире. Однако все известные редкометалльно-титановые россыпи России, по сравнению с аналогичными зарубежными месторождениями, характеризуются более сложными горно-геологическими и гидрогеологическими условиями разработки, несколько худшими технологическими свойствами рудных песков (меньшими размерами рудных минералов, большей глинистостью) и, как следствие, низкой рентабельностью их освоения. Поэтому, при огромных выявленных ресурсах редкометалльно-титановых россыпей в России, эта сырьевая база никак не используется, а титановые минералы и циркон импортируются. Совершенствование технологии и повышение комплексности использования руд – один из главных, если не единственный способ повышения инвестиционной привлекательности российских россыпных месторождений.

Применение методов технологической минералогии при исследовании редкометалльно-титановых рудных песков позволило научно обосновать эффективную технологию их переработки. Особенно актуальным становятся минералоготехнологические исследования руд планируемых к промышленному освоению редкометалльно-титановых месторождений, направленные на выявление новых, ранее неизвестных свойств минералов, использование которых позволит существенно улучшить технологические показатели или сохранить их на достигнутом уровне при заметном снижении качества обрабатываемых руд.

Изучением особенностей состава, строения и свойств редкометалльного сырья занимались ведущие ученые геологической отрасли отечественной науки (А.И.Гинзбург, В.И.Ревнивцев, Н.А.Шило, Н.Г.Патык-Кара, Б.И.Пирогов, Л.Б.Зубков, Л.Б.Чистов, Ю.А.Полканов, С.Н.Цимбал, Г.А.Сидоренко, Г.К.Кривоконева, С.И.Гурвич, В.К.Абулевич, В.А.Даргевич, В.А.Блинов, Л.П.Рихванов, А.Н.Жердева, и многие другие). Зарубежные авторы, в большей степени, обосновывают постановку частных конкретных вопросов, имеющих информационно-справочный характер или описывают конкретные аппараты, используемые при переработке руд.

Цель работы - разработка научно-методических основ минералоготехнологической оценки редкометалльно-титановых россыпей, определения их технологических свойств и прогнозирования качественных показателей переработки.

Основные задачи.

Установить минералоготехнологические особенности редкометалльно-титановых россыпей.

Разработать методику минералоготехнологической оценки редкометалльно-титановых россыпей и разработки новых технологий их обогащения.

Выявить корреляционные связи главных параметров минерального состава и технологических показателей обогащения руд с целью их применения при минералоготехнологическом картировании.

Определить возможность получения дополнительной товарной продукции при переработке редкометалльно-титановых россыпей и области ее применения в народном хозяйстве.

Защищаемые положения:

1. Минералогическими факторами, позволяющими определять технологические свойства редкометалльно-титановых россыпей на ранних стадиях ГРР, являются гранулярный состав исходных песков и рудных минералов, содержание глинистых фаз, морфоструктурные характеристики рудных минералов и степень их измененности, наличие полиминеральных агрегатов.

2. Выявлены закономерности соотношения главных рудных – ильменит, рутил, циркон и нерудных минералов, определяющие особенности их пространственного распределения, являющиеся основой минералого-технологического картирования редкометалльно-титановых месторождений.

3. Установлена зависимость извлечения ценных компонентов и рудных минералов редкометалльно-титановых россыпей от содержания диоксидов титана и циркония, рудных минералов и тяжелой фракции в целом. Разработана система минералогических критериев оперативной оценки технологических свойств при поисках, оценке и разведке редкометалльно-титановых месторождений.

4. Разработаны технологии комплексной переработки редкометалльно-титанового сырья, позволяющие, наряду с основными рудными концентратами, получать попутные товарные продукты - золото, глауконит, фосфаты, кварцевые и кварц-полевошпатовые пески, что обеспечивает повышение экономической эффективности освоения месторождений.

Фактический материал, положенный в основу работы, получен автором на протяжении более 30 лет работы в Институте минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов (ФГУП «ИМГРЭ») и ее производственной базе (Бронницкой ГГЭ). В процессе исследований изучены десятки тысяч проб исходных рудных песков и продуктов их переработки. Были использованы методы: гравитационно-магнитный, оптической микроскопии, включая оптико-геометрический, электронная микроскопия, микрорентгеноспектральный, а также результаты рентгенографического количественного фазового анализа (РКФА), полученные совместно с другими исследователями. Испытаны физико-химические и физические методы обогащения минерального сырья в лабораторных и промышленных условиях, применялись методы математической статистики. Проанализированы фондовые материалы и научные публикации по теме диссертации.

Научная новизна. Разработаны научно-методические основы определения вещественного состава редкометалльно-титановых россыпей применительно к оценке технологических свойств и разработке рациональных схем их обогащения.

Установлено, что рудные пески каждой россыпной провинции имеют специфические особенности, выраженные в отличии гранулярного состава исходных песков и рудных минералов, содержании глинистых компонентов, морфоструктурных характеристиках рудных минералов и степени их измененности, наличии полиминеральных агрегатов, и определяющие выбор технологических схем их переработки.

В пределах каждой провинции определены **объекты-аналоги** соответствующего ранга сходного геолого-промышленного типа, что позволяет проводить априорную количественную оценку прогнозных ресурсов новых месторождений и их технологических свойств.

Установлены закономерные связи между экспрессно определяемыми параметрами вещественного состава редкометалльно-титановых россыпей и извлечением рудных минералов в концентраты, что позволяет эффективно использовать химико-минералогические показатели для прогнозирования технологических свойств руды.

Полученные данные о составе и свойствах сопутствующих минералов в редкометалльно-титановых россыпях (золото, глауконит, фосфориты) позволили обосновать возможности получения попутной товарной продукции и принципиально новые области ее промышленного применения.

Практическая значимость. Выполненные автором за период 1976-2010 гг. исследования вещественного состава большинства редкометалльно-титановых россыпных месторождений России послужили материалом для научного обобщения, составившего важный вклад в решение крупной народнохозяйственной задачи по созданию, укреплению и расширению сырьевой базы редких металлов России.

Результаты исследований по технологической минералогии редкометалльно-титановых россыпей успешно применялись при совершенствовании технологических схем их переработки, направленном на повышение технологических показателей, качества продукции и степени комплексности использования сырья.

Разработаны и утверждены отраслевые нормативно-методические документы по технологическому опробованию и прогнозной технологической оценке редкометалльно-титановых россыпей на ранних стадиях геологоразведочных работ, которые широко применяются на ряде предприятий отрасли и геологоразведочных экспедиций.

Апробация работы. Основные результаты и положения диссертации докладывались и обсуждались на 32 собраниях научной общественности: международном геологическом конгрессе (Норвегия, 2008), 15 Международных совещаниях и симпозиумах (Канада, Украина, Москва), 16 всероссийских и региональных совещаниях и семинарах.

Публикации. По теме диссертации самостоятельно и в соавторстве опубликовано 69 печатных работ, в том числе 13 в изданиях, рекомендованных ВАК, пять - в зарубежных изданиях, пять монографий, научно-методические рекомендации НСОМТИ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения. В главе 1 дана краткая характеристика минерально-сырьевой базы титана и циркония в мире и России, а также анализ проблем, связанных с промышленным освоением отечественных редкометалльно-титановых месторождений, остальные главы раскрывают защищаемые положения. Материал изложен на 272 страницах машинописного текста, включающего 105 таблиц и 127 рисунков. Список литературы содержит 214 наименований.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность за полезные советы при обсуждении аспектов и результатов работы член-корр. РАЕН Л.П. Тигунову, докторам геолого-минералогических наук А.А.Кременецкому, А.А.Головину, Л.З.Быховскому, В.Т. Дубинчуку, И.А. Чижовой, кандидатам геолого-минералогических наук И.Е.Максимюк, Г.К. Кривоконевой, А.В.Лаломову, А.В. Григорьевой. Светлая и благодарная память Н.Г. Патык-Кара, с которой было проведено много работ по анализу особенностей вещественного состава россыпных редкометалльно-титановых месторождений. Автор благодарен за помощь при постановке и проведении научных исследований по теме диссертации сотрудникам отдела технологии ИМГРЭ, отдела минералогии ВИМС, и всем содействующим успешному решению целей и задач работы.

Автор выражает глубокую признательность за поддержку и ценные советы научному консультанту, доктору геолого-минералогических наук А.А.Кременецкому.

Основным промышленным типом месторождений титана и циркония являются современные и древние прибрежно-морские циркон-рутил-ильменитовые россыпи, которые обеспечивают ~ 60% добычи титана и ~ 95% циркония. С ними в балансовых запасах связано лишь 6,6% диоксида титана, 48,2% диоксида циркония. Мировые запасы циркониевого (с гафнием) сырья, при систематически проводимых в различных регионах мира поисковых и разведочных работах, постоянно увеличиваются. В мировых подтвержденных запасах титана (без России), по данным Геологической службы США, на россыпи приходится 80%. Цирконий практически не образует собственных крупных и богатых месторождений, а заключен в коренных рудах и россыпях вместе с титаном, железом, медью, танталом, ниобием, редкими землями, где является одним из основных или попутным полезным компонентом. Добыча циркония из недр всегда тесно связана с титаном и оценивается по отношению к нему как 1:5 – 1:6. Мировое производство циркониевых концентратов составляет более 1 млн.т в год. Ежегодный рост потребления цирконовых концентратов на 4-5% в год определяется, в основном, возрастающим спросом на них в Китае, где он используется в керамике. Активно растет потребление диоксида циркония и других химических соединений, в меньшей степени – металла и сплавов. Цены на рудные концентраты в последние годы заметно выросли, особенно на рутиловые и цирконовые.

По количеству разведанных запасов и прогнозных ресурсов титана и циркония Россия занимает одно из ведущих мест в мире: общие запасы и ресурсы титана в недрах РФ оцениваются в сотни млн. тонн TiO_2 , циркония – в десятки млн. тонн ZrO_2 . Балансом РФ учтено двенадцать россыпных месторождений, в т.ч. десять балансовых. Почти все отечественные россыпи – это комплексные месторождения титана, циркония, кварцевых (кварц-глауконитовых, кварц-полевошпатовых) песков и каолина, освоение которых даст возможность получать на ряде из них высокотитанистые (хлоридные) концентраты ильменита и рутила, которые требуются в первую очередь для металлургической подотрасли, а также цирконовые концентраты. Наиболее перспективными для освоения являются: на территории Центрально-Европейской титано-циркониевой россыпной провинции - Центральное и Лукояновское, Северо-Кавказской - Бешпагирское, Западно-Сибирской – Туганское, Георгиевское, Ордынское и Тарское месторождения.

По запасам российские россыпные месторождения относятся к средним, за исключением Центрального месторождения, запасы которого сопоставимы с разрабатываемым Малышевским месторождением на Украине и ВИМ-150 в Австралии. По содержанию «условного ильменита» российские титано-циркониевые россыпи, в целом, сопоставимы со многими, разрабатываемыми за рубежом россыпными месторождениями. Однако, при высокой ценности запасов рудных песков, их извлекаемая ценность в пересчете на концентраты низкая. По ряду причин (большая глубина залегания, невысокая мощность рудного пласта и высокая глинистость, тонкозернистость рудных минералов) россыпные месторождения России имеют низкие показатели экономической эффективности освоения (рис. 1). Ключевым направлением решения этой проблемы является совершенствования технологических решений, а также методов и методик для их осуществления.

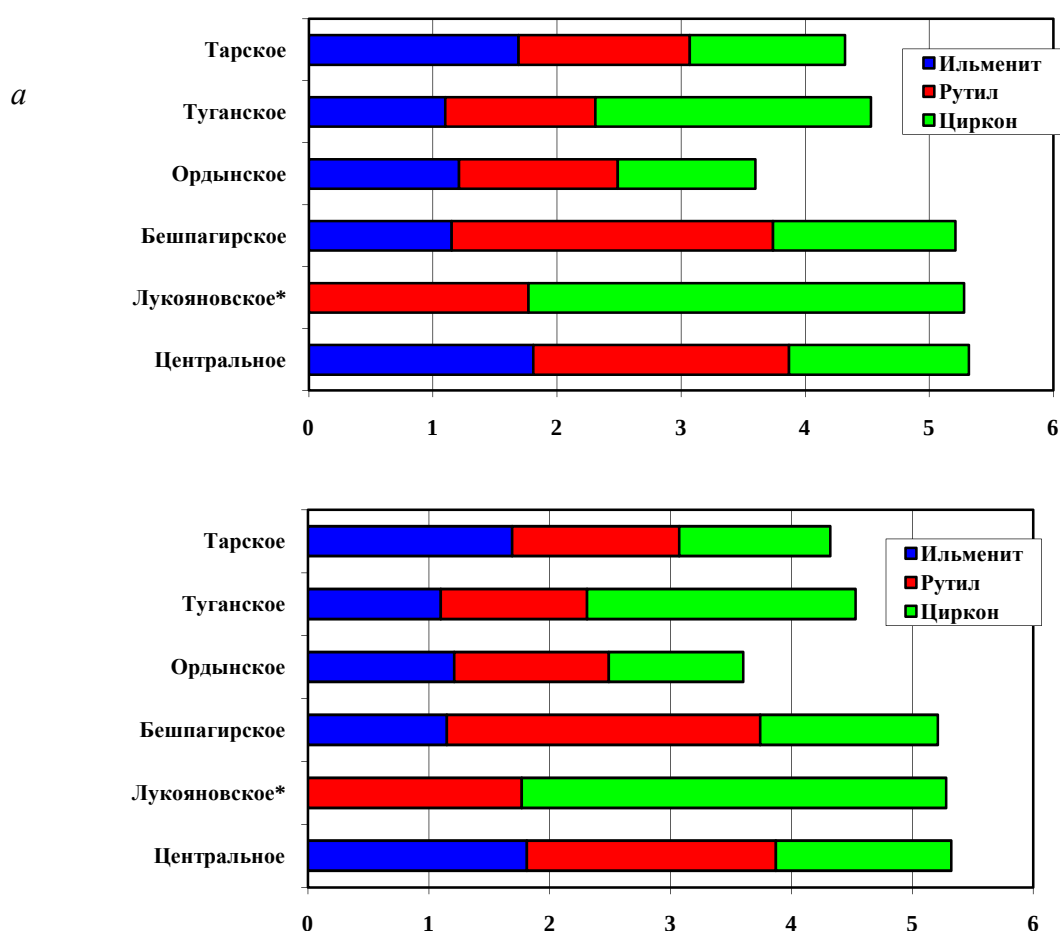


Рис. 1. Ценность запасов рудных песков месторождений, млн. USD (а) и извлекаемая ценность 1 т в пересчете на стоимость концентратов, USD/тонн (б), * - неучтен ильменит-хромит-гематитовый продукт, сбыт которого в настоящее время проблематичен.

Положение 1. Минералогическими факторами, позволяющими определять технологические свойства редкометалльно-титановых россыпей на ранних стадиях ГРР, являются гранулярный состав исходных песков и рудных минералов, содержание глинистых фаз, морфоструктурные характеристики рудных минералов и степень их измененности, наличие полиминеральных агрегатов.

Комплексом минералого-аналитических методов проведено изучение особенностей вещественного состава наиболее перспективных для освоения россыпных редкометалльно-титановых месторождений: Центральное, Лукояновское, Бешпагирское, Ордынское и Тарское - химический и минеральный состав исходных песков, гранулометрические характеристики, физические, химические и морфоструктурные свойства рудных минералов. Сопоставление данных показывает, что исходные пески мелко- и тонкозернистые. Выход классов крупности, чаще, не совпадает с распределением полезных компонентов. В песках Центрального месторождения основная доля TiO_2 и ZrO_2 , приурочена к классу $-0.14+0.1$ мм, Лукояновского и Бешпагирского - к классам $-0.1+0.044$ мм, в песках Тарского и Ордынского месторождений полезные компоненты концентрируются, в основном, в классе менее $0,074$ мм (рис. 2).

К факторам, определяющим технологические свойства россыпных руд, относятся их минеральный состав и распределение рудных минералов в классифицированном материале. Установлено, что рудные минералы тонкозернистые и, в основном, сосредоточены в классах $-0,1+0,074$ мм и $<0,074$ мм (табл. 1).

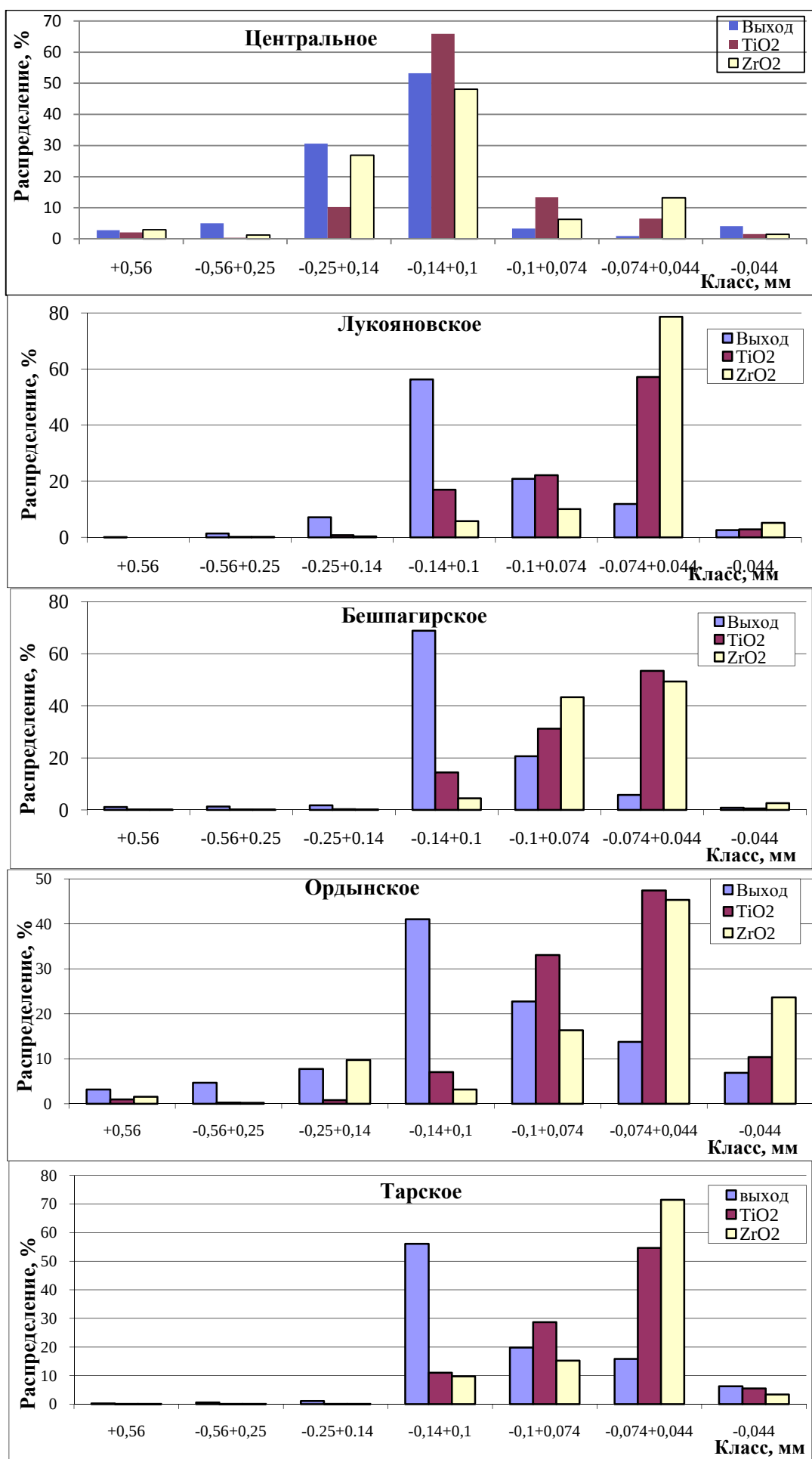


Рис. 2. Распределение TiO_2 и ZrO_2 по классам крупности рудных песков

Таблица 1. Распределение рудных минералов по классам крупности рудных песков редкометалльно-титановых месторождений

Месторождение	Класс, мм	Выход, %	Распределение, %		
			Ильменит	Циркон	Рутил
Центральное	+0,25	7,86	-	-	-
	-0,25+0,14	30,63	0,1	-	-
	-0,14+0,1	53,18	39,18	14,16	26,12
	-0,1+0,074	3,31	57,34	67,27	67,85
	<0,074	5,02	3,38	18,57	6,03
Лукояновское	+0,25	1,33	-	-	-
	-0,25+0,14	7,09	0,49	0	0
	-0,14+0,1	56,3	15,89	6,96	15,0
	-0,1+0,074	20,88	24,45	9,5	21,0
	<0,074	14,4	59,17	83,54	64,0
Бешпагирское	+0,14	1,96	0,04	-	-
	-0,14+0,1	68,85	7,94	3,03	2,04
	-0,1+0,074	20,57	60,04	33,33	56,04
	<0,074	6,55	31,98	63,64	41,92
Тарское	+0,14	22,85	-	-	-
	-0,14+0,1	51,43	2,2	0,35	0,44
	-0,1+0,074	4,42	60,23	44,54	47,7
	<0,074	21,3	37,57	55,11	51,86
Малышевское	+0,25	3,56	0,05	-	-
	-0,25+0,14	23,33	0,64	2,94	4,17
	-0,14+0,1	51,64	12,71	8,82	18,75
	-0,1+0,074	3,96	52,34	14,71	56,25
	<0,074	17,51	34,26	73,53	20,83

Содержание *глинистых минералов* в целом отвечает распределению шламового гранулометрического класса: наиболее высокое их содержание (15-21%) характерно для Туганского и Тарского месторождений. В Бешпагирском и Центральном месторождениях оно не превышает 1%, в Ордынском составляет 7%. Существенное значение имеет также распределение по классам крупности вредных минералов-примесей: фосфатов и хромшпинелидов.

Путем сравнительного анализа исследованы свойства главных рудных минералов россыпей и оценено их влияние на качество концентратов и технологию переработки рудных песков. Для большинства россыпей характерен в значительной степени измененный ильменит, свойства которого сильно отличаются от ильменита неизмененного. Гипергенное преобразование ильменита связано с окислением и выщелачиванием железа. Среди продуктов изменения ильменита отмечены рутил, анатаз, брукит, гематит, промежуточные члены ряда ильменит–гематит, рентгеноаморфная фаза $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{TiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$, псевдорутил $\text{Fe}_2\text{TiO}_3\text{O}_9$.

Особое место в этом ряду занимает сложное титановое образование, которое автор, согласно ранее принятой терминологии, называет лейкоксеном. Одной из форм выделения ильменита являются продукты распада твердого раствора, образующие пластинчатые и решетчатые структуры в титаномагнетите и гематите. С разной степенью изменения ильменита связаны различия в его химическом составе. Более светлые участки зерна (рис. 3а) обогащены железом, магнием и марганцем и обеднены титаном. Наблюдаются дендритовидные выделения в ильменитовой матрице; микро-слоистое строение зерна, в котором каждый из микрослоев имеет собственный хими-

ческий состав, отличающийся содержанием основных компонентов и микропримесей (рис. 3б). На поверхности некоторых окатанных зерен отмечаются микрокристаллы минеральных фаз, которые представляют собой железо-марганцевые корки (рис. 4а) или минералы группы танталониобатов (рис. 4б).

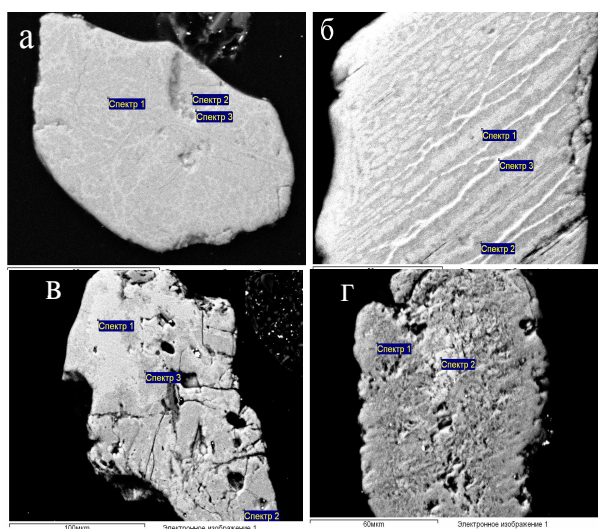
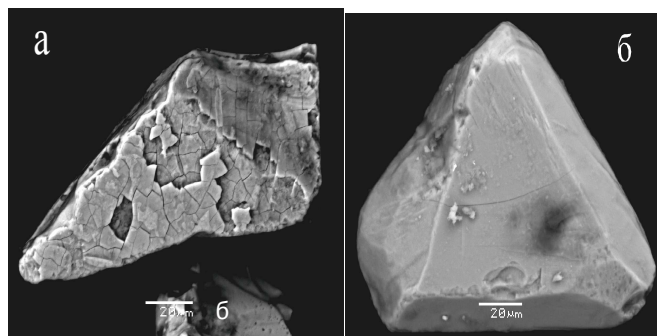


Рис.3. Разновидности ильменитов: а - ильменит «дендритовидный», б – тонкослоистый ильменит, в – ильменит с пирофанитовой компонентой (до 2,71 масс.% Mn), г– лейкоксенизированный ильменит. Процесс лейкоксенизации идет от периферии к центру происходит вынос Fe и обогащение Mg, Al, Si. СЭМ.

Рис. 4. Постседиментационные новообразования на поверхности титановых минералов: а - железо-марганцевые корки на поверхности ильменита, б - минералы группы танталониобатов на поверхности ильменорутила. Изображение в отраженных электронах.



Лейкоксен представлен скрытокристаллическими или аморфными образованиями желтовато-бурого цвета разной интенсивности, иногда серого или коричневого разных оттенков, в редких случаях серовато-белый (как правило, у зерен, образованных по сфену). Отмечается большое разнообразие форм: от округлых хорошо окатанных до осколочных обломков, из которых около 30% зерен представляют собой рыхлые образования, легко разрушающиеся при механическом воздействии.

Характер поверхности и внутреннее строение микроагрегатов лейкоксена отличается большим разнообразием. Встречаются зерна лейкоксена, на поверхности которых развиты более крупные радиально-лучистые агрегаты рутила (рис.5).

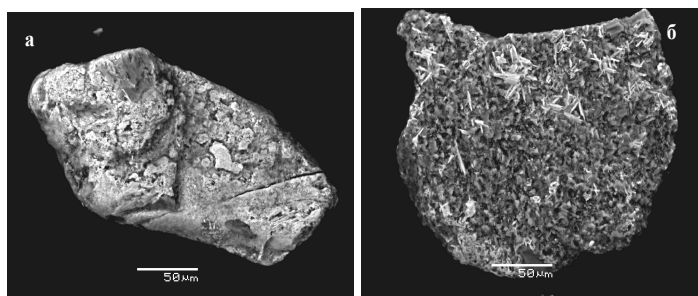


Рис. 5. Поверхность лейкоксена: а - со следами растворения на гранях, б - радиально-лучистые агрегаты рутила. Изображение в отраженных электронах.

Отмечены лейкоксеновые образования, как результат перекристаллизации ильменита по титаномagnetиту (рис.6).

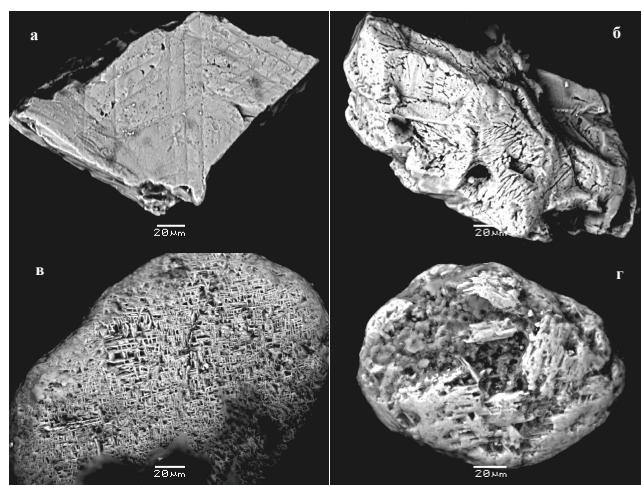


Рис. 6. Последовательные вторичные изменения титановых минералов в ряду «титаномagnetит – лейкоксен»: а- титаномagnetит в начальной стадии выноса магнетитовой составляющей, б, в - ильменит, образованный по титаномagnetиту с реликтовой структурой, г - лейкоксен с реликтовой структурой титаномagnetита. Изображение в отраженных электронах.

Рутил в россыпях представлен 5 морфологическими разновидностями: рутил однородного состава мало измененный; однородного состава сильно трещиноватый; со множественными включениями силикатов и алюмосиликатов; со множественными включениями нитевидных кристаллов циркона; в сростках с кварцем и хромшпинелидом (рис. 7). Кроме того, в россыпях отмечены зерна вторичного рутила, которые представляют собой агрегаты разнонаправленных кристаллов с силикатами.

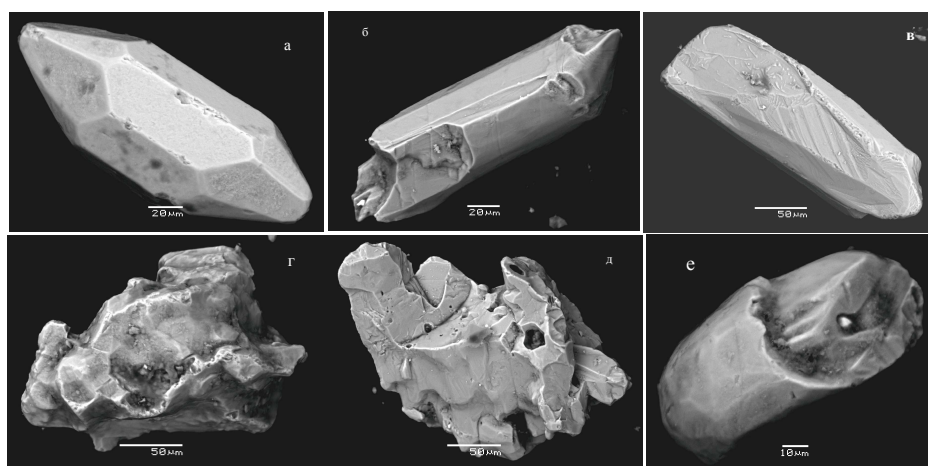


Рис. 7. Морфологические разновидности рутила в россыпях: а – кристаллографически правильная форма, б – обломок кристалла, в – штриховка на поверхности грани кристалла, полученная в результате транспортировки в водной среде, г, д – метаморфические рутилы, продукт изменения титановых минералов, е – минеральные фазы на поверхности зерна (силикаты и тонкодисперсные частицы ильменита). Изображение в отраженных электронах.

Изменение химизма в ряду титановых минералов приводит к изменению физических свойств. Повышение степени измененности ильменита характеризуется снижением *удельной магнитной восприимчивости*. Рутил, по сравнению с ильменитом, характеризуется существенно меньшей изменчивостью физических и химических

свойств. Переменный состав титановых минералов, наличие включений и посторонних примесей существенно влияет на качество ильменитового и рутилового концентратов.

Для изученных россыпей характерно многообразие кристаллических форм циркона. Морфологически циркон представлен как малоизмененными разностями, сохранившими кристаллографические формы (рис. 8а), так и обломками кристаллов со следами механической деструкции (рис. 8 в, г).

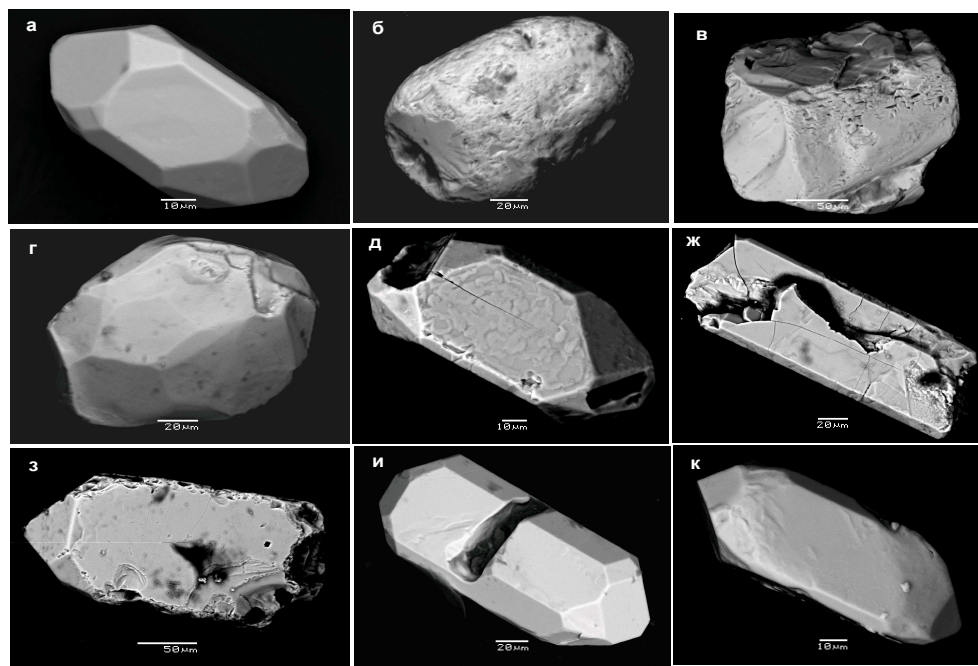


Рис. 8. Морфологические разновидности циркона. Изображение в отраженных электронах.

В качестве микровключений в цирконе обнаружены магнетит, ильменит, апатит, рутил, кварц, турмалин, ферриторит. Цирконы, содержащие минералы-включения, в некоторых месторождениях, например, Центральном, составляют 30-40 % от общей массы. На некоторых зернах циркона имеются пленки и примазки оксидов Fe и Mn. Метамиктная разновидность, в которой отмечается более низкое содержание ZrO_2 и высокое – тория и иттрия, обычно присутствует в подчиненном количестве (1-2%). Анализ степени измененности циркона позволяет использовать новые технологические решения с целью повышения качества цирконового концентрата.

Из потенциально-промышленных минералов в россыпях изучены золото, платина, глауконит, алмазы и шпинели.

Из *вредных примесей*, влияющих на качество рудных концентратов, изучены хромшпинелиды, апатит и монацит.

По изученным признакам месторождения были ранжированы, что позволяет выделить среди них объекты с наиболее привлекательными технологическими параметрами.

Анализ потерь рудных минералов при переработке россыпей показал, что при первичном обогащении основные потери связаны со шламами и хвостами гравитации, что обусловлено, главным образом, тонкозернистостью и глинистостью песков, а на некоторых объектах - наличием сrostков, из-за которых возможны большие потери с легкой фракцией (рис. 9). Для наиболее тонкозернистых и глинистых песков объем потерь может достигать 15-16% от исходных рудных песков.

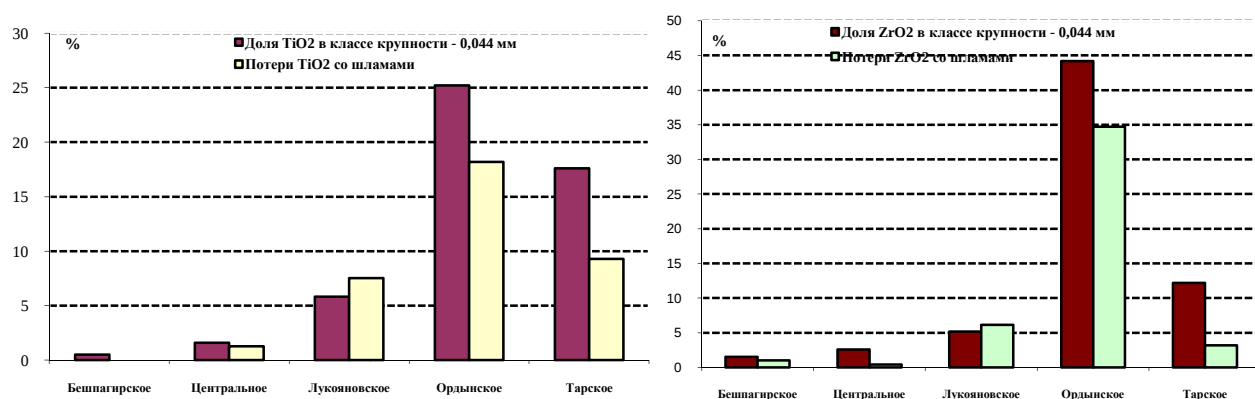


Рис. 9. Содержание TiO_2 и ZrO_2 в классе крупности $-0,044$ мм и их потери со шламами

Основные потери рудных минералов на стадии доводки и получения конечных селективных концентратов связаны со степенью измененности ильменита, наличием включений в рудных минералах и пленок на их поверхности. Потери в хвостах доводки наиболее характерны для циркона, тогда как потери титановых минералов связаны, в основном, с продуктами электрической и магнитной сепарации, на стадии доводки относительно небольшие (рис. 10).

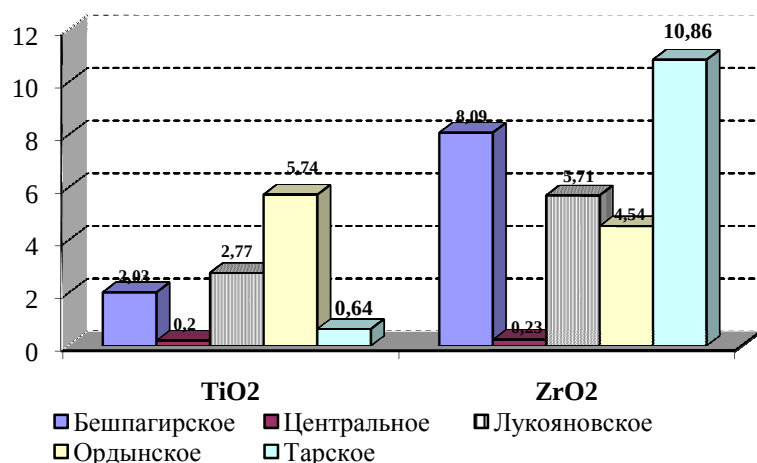


Рис. 10. Потери полезных компонентов с хвостами доводки

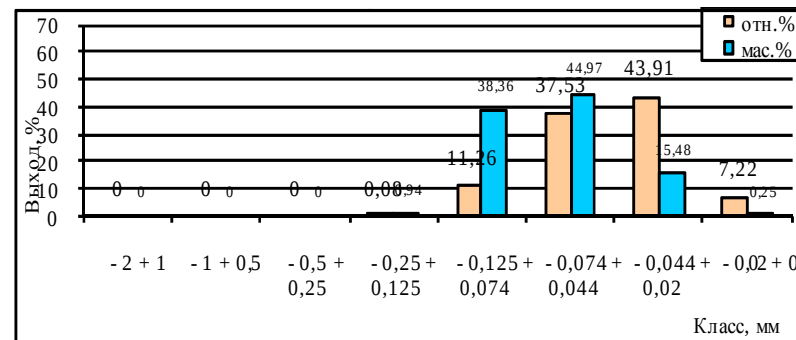
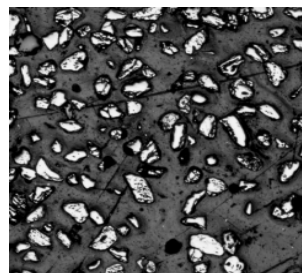
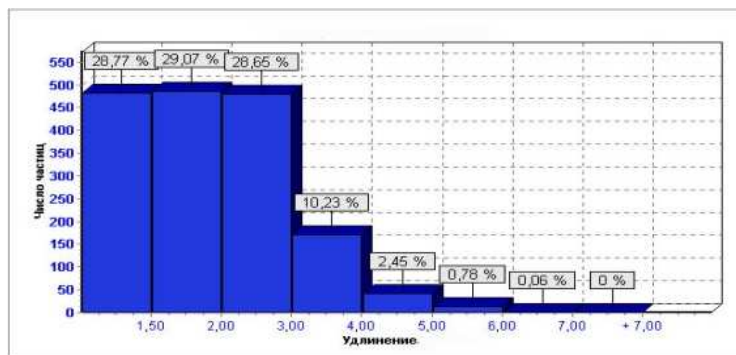
К факторам, влияющим на потери полезных компонентов, относится форма зерен рудных минералов, так как за счет их удлинения, которое для большинства из них составляет 2,5–3, эти зерна могут при грохочении остаться на более крупных ситах. На рис. 11, в качестве примера, приведены морфоструктурные характеристики рудных минералов месторождения Центральное.

С целью выявления *особенностей свойств* основных промышленных минералов, влияющих на технологические показатели переработки руд, были проанализированы: степень измененности, цвет, форма, размер, морфометрические характеристики, плотность, магнитная восприимчивость, химический состав рудных минералов по 7 месторождениям, включая опубликованные данные по Малышевскому и Туганскому. В исходных песках ряда месторождений выявлено наличие сростков рудных и порообразующих минералов, что особенно характерно для Центрального и Лукояновского месторождений (табл.2).

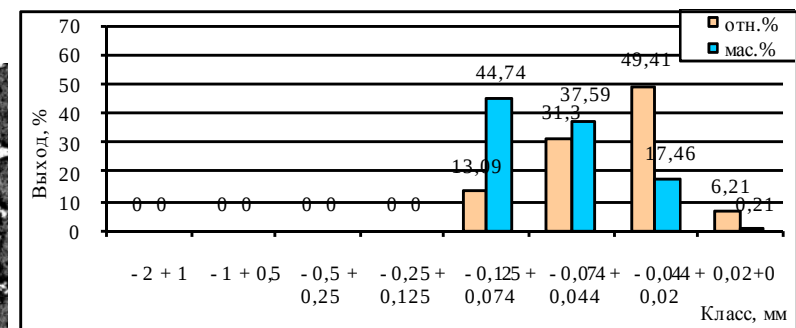
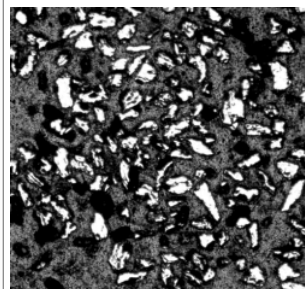
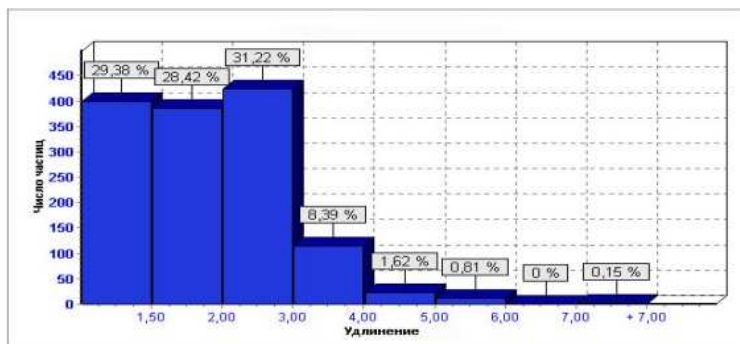
а

ильменит

б



рутил



циркон

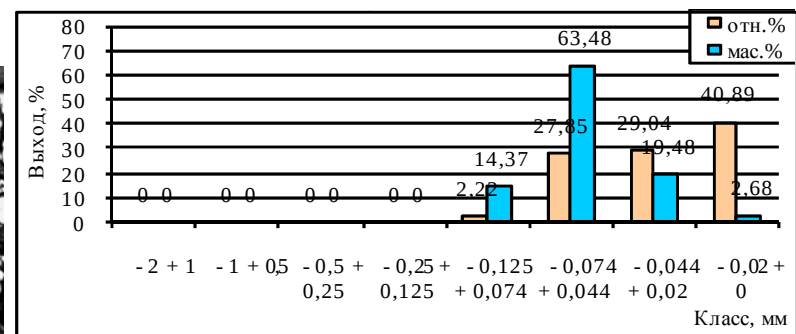
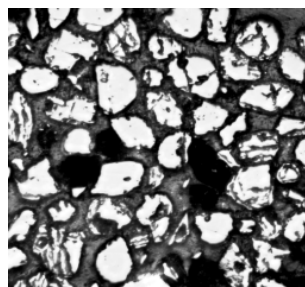
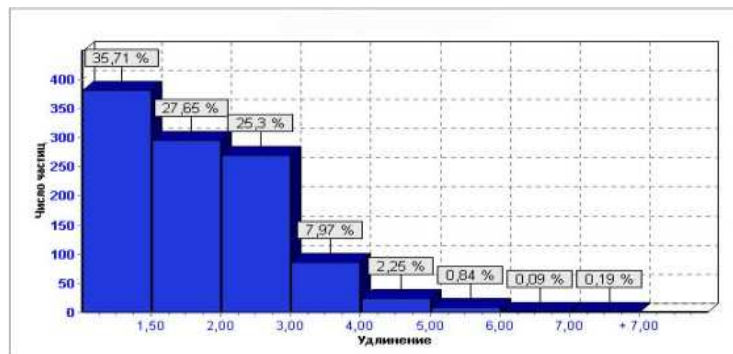


Рис. 11. Качественное и количественное распределение зерен рудных минералов в рудных песках месторождения Центральное:
а - по удлинению, б - по крупности.

Таблица 2. Особенности вещественного состава редкометалльно-титановых россыпей

Месторождение	Особенности вещественного состава	Влияние на технологический процесс и области применения
Центральное	Относительная крупнозернистость исходных песков и рудных минералов Высокая степень измененности ильменита, высокое содержание TiO_2 Высокое содержание фосфора в ильменитовом концентрате Повышенная радиоактивность циркона Включения ильменита и магнетита в рутиле, наличие пленок гидроксидов железа на поверхности зерен Высокая доля зерен циркона с микровключениями. Пленки гидроксидов железа на поверхности зерен кварца	Необходимость использования новых технологических приемов с целью повышения качества рудных концентратов Непригодность кварц-полевошпатового песка для использования в стекольной промышленности
Лукояновское	Относительная тонкозернистость исходных песков и рудных минералов Включения хромита в ильмените Высокое содержание ZrO_2 в рутиле Примазки фосфорита и др. минералов на зернах рутила Пленки гидроксидов железа на поверхности зерен кварца	Необходимость использования новых технологических приемов с целью повышения качества рудных концентратов Невозможность получения ильменитового концентрата Непригодность кварц-полевошпатового песка для использования в стекольной промышленности
Бешпагирское	Относительная крупнозернистость исходных песков и рудных минералов Значительная степень измененности ильменита, высокое содержание TiO_2 Относительно высокое содержание тория в цирконе Пленки гидроксидов железа на поверхности зерен кварца	Необходимость использования новых технологических приемов с целью повышения качества рудных концентратов Непригодность кварц-полевошпатового песка для использования в стекольной промышленности
Ордынское	Относительная тонкозернистость исходных песков и рудных минералов Незначительная степень измененности ильменита Высокое содержание хрома в ильмените Отсутствие пленок гидроксидов железа на поверхности зерен кварца	Необходимость использования новых технологических приемов с целью повышения качества рудных концентратов Пригодность кварц-полевошпатового песка для использования в стекольной промышленности
Тарское	Относительная тонкозернистость исходных песков и рудных минералов Незначительная степень измененности ильменита Микровключения титаномагнетита в ильмените Относительно высокое содержание тория в цирконе Отсутствие пленок гидроксидов железа на поверхности зерен кварца	Необходимость использования новых технологических приемов с целью повышения качества рудных концентратов Пригодность кварц-полевошпатового песка для использования в стекольной промышленности

Обобщением данных по вещественному составу редкометалльно-титановых месторождений России установлено, что рудные пески каждой россыпной провинции имеют специфические особенности: в россыпях Восточно-Европейской провинции - большое количество вредных примесей в виде фосфатов и хромшпинелидов; наличие сростков рудных минералов с нерудными и микровключений минералов с другими физическими свойствами в зернах рудных минералов; в россыпях Западно-Сибирской провинции - тонкозернистость рудных песков и рудных минералов, глинистость песков, относительно небольшое количество вредных примесей; в россыпях Северо-Кавказской провинции – относительная крупнозернистость исходных песков и рудных минералов, высокая степень сортированности песков, низкое содержание глинистой фракции и вредных примесей. В пределах каждой россыпной провинции определены объекты-аналоги соответствующего ранга сходного геолого-промышленного типа, что позволяет проводить априорную количественную оценку технологических свойств новых месторождений.

Положение 2. Выявлены закономерности соотношения главных рудных – ильменит, рутил, циркон и нерудных минералов, определяющие особенности их пространственного распределения, являющиеся основой минералогическо-технологического картирования редкометалльно-титановых месторождений.

Исходным материалом для исследований послужили данные оптико-минералогических анализов более 1000 геологических проб из 99 скважин, отобранных при проведении ПОР на Восточном участке Центрального месторождения, наиболее подготовленного к эксплуатации, в котором сосредоточено около 30% запасов рудных песков. Характерной особенностью рудных песков является наличие выдержанного горизонта желваковых и галечных фосфоритов мощностью до 30 см в верхней части рудного пласта.

Изучены типоморфные особенности минералов рудного пласта и распределение главных рудных минералов (ильменита, рутила, циркона, суммы титановых минералов в ильменитовом концентрате (ильменита, лейкоксена, сфена и анатаза), условного ильменита (рис. 12) и сопутствующих полезных компонентов (дистен, ставролит, гранат, глауконит – рис.13).

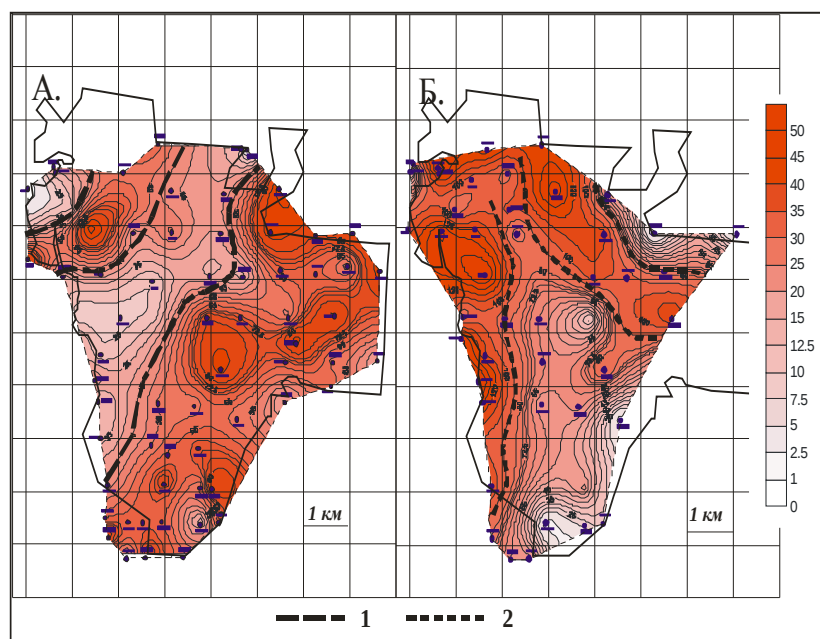


Рис. 12. Распределение условного ильменита:

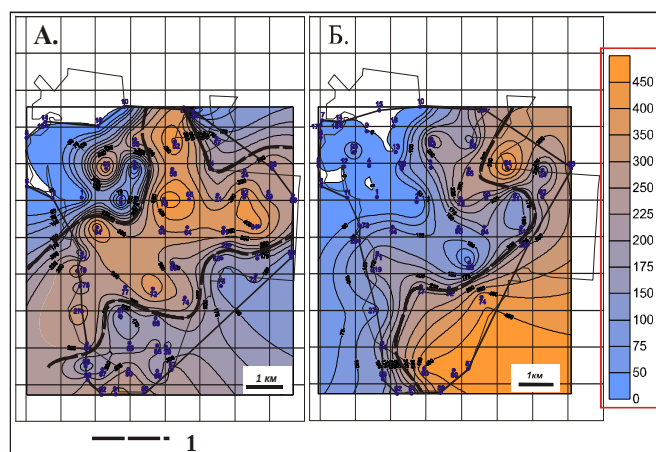
А – горизонт 170 м,

Б – горизонт 180 м.

1 – элементы минералогической зональности 1-ого ранга,

2 – то же, 2-ого ранга.

Рис. 13. Распределение глауконита:
А – на уровне 170 м,
Б – на уровне 180 м.
1 – элемент минералогической зональности.



Общая неоднородность минерального пространства участка выражена через парные отношения главных рудных минералов (ильменит к сумме продуктов его изменения – лейкоксену и псевдуриту, циркона к метамиктному циркону, рутила к псевдуриту) и статистический показатель структуры полиминеральных полей, рассчитанный по методу Главных Компонент (ГК) (табл.3, рис. 14).

Таблица 3. Значения Главных компонент, рассчитанные по трем вариантам: для 5 и 8 признаков (рудных минералов), для 12 признаков (рудных и сопутствующих минералов)

1 ГК		2 ГК		3 ГК	
Вес	Значение	Вес	Значение	Вес	Значение
Число признаков – 5 (<i>Ilm Ru Zr Sph An</i>)*					
73.7	$[Ru_{0.94}Zr_{0.91}Ilm_{0.9}Sph_{0.83}An_{0.76}]$	10.6	$[Sph_{0.83}An_{0.6}/Ilm_{-0.26}Zr_{-0.2}Ru_{-0.19}]$	7.4	$[Sph_{0.53}]$
Число признаков – 8 (<i>Ilm Ru Leu Pseudru Zr Zr_m Sph An</i>)					
57.8	$[Ru_{0.94}Ilm_{0.87}Zr_{0.86}Zr_{m0.82}Sph_{0.81}An_{0.76}Leu_{0.46}Pseudru_{0.37}]$	13.1	$[Pseudru_{0.74}Leu_{0.61}]$	6.3	$[Pseudru_{0.56}]$
Число признаков – 12 (<i>Ilm_{leu} Leu, Ru, Pseudru, Zr, Zr_m, Sph, An, Garn, Sta, Dis, Glauk</i>)					
47.0	$[Ru_{0.93}Ilm_{leu0.92}Zr_{0.79}Sta_{0.73}Dis_{0.72}Sph_{0.7}An_{0.68}Zr_{m0.67}]$	11.9	$[Leu_{0.63}Pseudru_{0.62}Glauk_{0.57}]$	9.0	$[Glauk_{0.72}]$

**Ilm* – ильменит, в т.ч. лейкоксенизированный, *Leu* – лейкоксен, *Pseudru* – псевдурит, *Ru* – рутил, *Zr* – циркон., *Sph* – сфен, *An* – анатаз, *Garn* – гранат, *Sta* – ставролит, *Dis* – дистен, *Glauk* – глауконит

Качество рудных концентратов, оцениваемое по отношениям *ilm/leu+pseudru*, *ru/pseudru* и *zr/zr_m* соответственно, существенно меняется в пределах участка (табл. 4, 5). Значение показателей *ilm/leu+pseudru* и *ru/pseudru* характеризует содержание TiO_2 в ильменитовом и рутиловом концентратах. В пределах площади Восточного участка, измененность и, следовательно, титанистость ильменитового концентрата варьирует значительно. На отдельных горизонтах россыпи коэффициент вариации параметра *ilm/leu+pseudru* меняется от 75 до 197 при среднем показателе 82% (табл.5). Повышенное содержание TiO_2 в ильменитовом концентрате ожидается в западной части участка (рис. 15а). Качество цирконового концентрата, оцениваемое по отношению *zr/zr_m*, меняется в пределах участка не столь заметно. Однако, в целом, при незначительном вкладе метамиктного циркона в цирконовый концентрат (средние значения показателя *zr/zr_m* на разных горизонтах россыпи меняются от 13 до 26) удастся выделить центральную субширотную зону с относительно повышенным содержанием метамиктного циркона относительно циркона кристаллического (рис. 16).

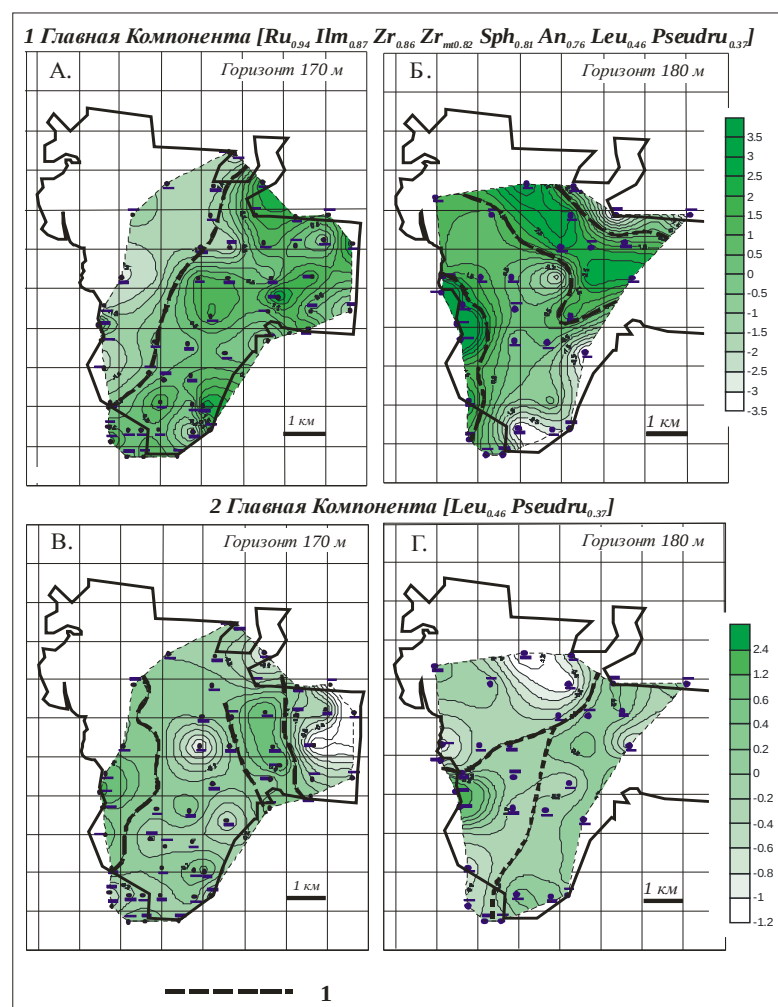


Рис. 14. Распределение значений Главных Компонент на разных уровнях рудной залежи Восточного участка Центрального месторождения: А-Б – 1-я ГК вида [$Ru_{0.94}$ $Ilm_{0.87}$ $Zr_{0.86}$ $Zr_{mt0.82}$ $Sph_{0.81}$ $An_{0.76}$ $Leu_{0.46}$ $Pseudru_{0.37}$]: А – горизонт 170 м, Б – 180 м; В-Г – 2-я ГК вида [$Pseudru_{0.74}$ $Leu_{0.61}$], В – горизонт 170 м, Г – 180 м.

Таблица 4. Статистические параметры распределения показателей качества ильменитового, рутилового и цирконового концентратов в рудной залежи

Горизонт, м	Минимальные значения, %	Максимальные значения, %	Среднее значение, %	Среднее квадратичное отклонение	Коэффициент вариации, %
А. ильменит/псевдорутит+лейкоксен ($ilm/pseudru + leu$)					
185	4.15	83.00	15.95	17.95	112.48
180	6.11	91.87	20.67	15.82	76.53
175	7.12	492.00	34.54	66.88	193.59
170	5.08	1985.00	67.33	266.05	395.14
165	5.62	273.78	35.29	52.21	147.85
Б. рутил/псевдорутит ($ru/pseudru$)					
185	5.00	90.00	31.08	23.52	75.66
180	10.00	466.00	54.21	72.93	134.52
175	9.00	652.00	72.65	115.31	158.71
170	8.53	686.00	85.65	168.36	196.57
165	2.79	170.00	32.18	28.65	89.03
В. циркон/циркон метамиктный (zr/zr_{mt})					
185	6.00	23.14	13.36	5.31	39.77
180	6.27	55.00	21.29	11.57	54.36
175	5.63	314.00	26.24	41.56	158.42
170	3.78	47.83	17.13	8.16	47.63
165	1.08	108.00	21.51	17.67	82.14

Рис. 15. Распределение показателей, характеризующих качество титановых концентратов: А-Б – отношение $ilm/leu+pseudru$ на горизонтах 170 м (А) и 180 м (Б), В-Г – отношение $ru/pseudru$ на горизонтах 170 м (В) и 180 м. (Г). 1 – элемент минералогической зональности 1-го ранга, 2 – элемент минералогической зональности 2-го ранга.

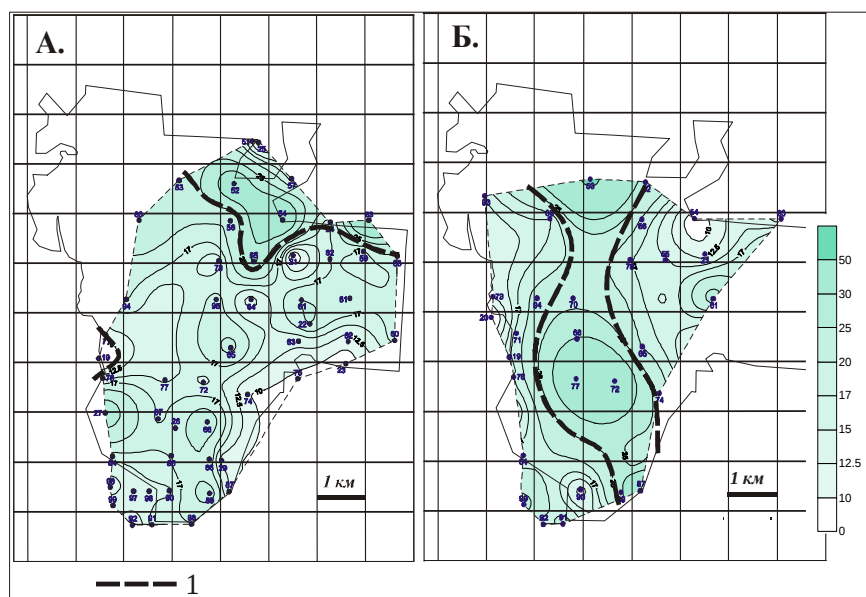
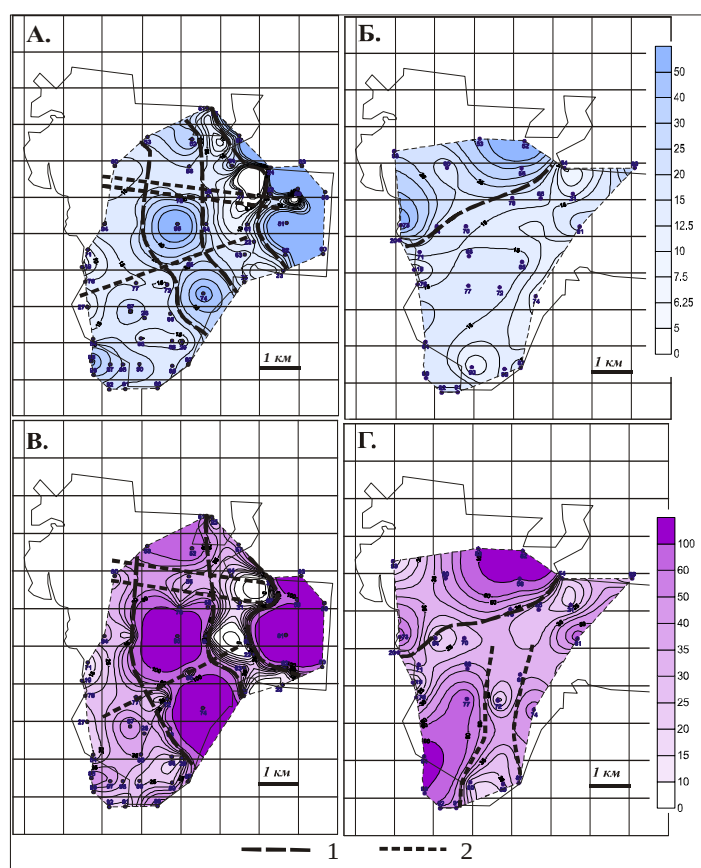


Рис.16. Распределение отношения zr/zr_{mt} характеризующего долю метамиктного циркона (zr_{mt}) в цирконовом концентрате: А – на уровне 170 м, Б – на уровне 180 м. 1 – элемент минералогической зональности.

В пределах выделенной зоны значения показателя zr/zr_{mt} не превышают 20, иногда снижаясь до 10-12.5, в то время, как на северном фланге участка это значение возрастает в 2 и более раз, что говорит о меньшем вкладе метамиктного циркона в цирконовый концентрат.

Сопоставление картины распределения указанных параметров по линиям разрезов 1 и 31 позволяет установить распределение парных отношений рудных минералов к продуктам их изменения по 5 срезам -165м, 170м, 175м, 180м и 185м (рис. 17) и построить диаграмму, характеризующую распределение индивидуальных минералов в той или иной зоне.

Таблица 5. Статистические параметры распределения отношений основных рудных минералов по разрезам 1 и 31

Горизонт, м	Минимальные значения, %	Максимальные значения, %	Среднее значение, %	Среднее квадратичное отклонение	Коэффициент вариации, %
А. ильменит/псевдурит+лейкоксен (<i>ilm/pseudru + leu</i>)					
185	4.15	83.00	15.95	17.95	112.48
180	6.11	91.87	20.67	15.82	76.53
175	7.12	492.00	34.54	66.88	193.59
170	5.08	1985.00	67.33	266.05	395.14
165	5.62	273.78	35.29	52.21	147.85
Б. рутил/псевдурит (<i>ru/pseudru</i>)					
185	5.00	90.00	31.08	23.52	75.66
180	10.00	466.00	54.21	72.93	134.52
175	9.00	652.00	72.65	115.31	158.71
170	8.53	686.00	85.65	168.36	196.57
165	2.79	170.00	32.18	28.65	89.03
В. циркон/циркон метамиктный (<i>zr/zr_{mt}</i>)					
185	6.00	23.14	13.36	5.31	39.77
180	6.27	55.00	21.29	11.57	54.36
175	5.63	314.00	26.24	41.56	158.42
170	3.78	47.83	17.13	8.16	47.63
165	1.08	108.00	21.51	17.67	82.14

Установлено, что распределение в пространстве рудной залежи Восточного участка Центрального месторождения парных отношений *ilm/pseudru + leu* и *ru/pseudru*, характеризующих, соответственно, качество ильменитового и рутилового концентратов, зависит от двух факторов: степени субаэральной переработки рудных песков (особенно заметный в западной части участка) и эпигенетических изменений ильменита *in situ* под влиянием вод, циркулирующих в толще рудоносных песков.

Установлена сложная внутренняя структура залежи при существенной вариации содержаний и соотношений индивидуальных рудных минералов, неоднородность их распределения в плане и в разрезе на разных гипсометрических уровнях пласта; нарастание содержаний основных рудных минералов на средних гипсометрических уровнях, а внутри них – в восточной и в юго-восточной части контура; изменение структуры пласта в его верхней части с перемещением области максимальных концентраций рудных минералов в западно-северо-западную часть контура.

Рудный пласт характеризуется значительным разбросом концентраций рудных минералов, варьирующих в весьма широких пределах при наибольшей вариабельности в верхних горизонтах рудного пласта. В теле россыпи отчетливо выделяются два относительно обогащенных горизонта, состоящих из линз с наиболее высокими концентрациями рудных минералов. Наиболее мощная и выдержанная «обогащенная» линза по всем рудным минералам выделяется в верхней части пласта в западной части участка.

Сопоставление картины распределения указанных параметров по 5 гипсометрическим уровням позволило построить диаграмму смещения минералов в ту или иную зону Восточного участка и получить объемную (3-х мерную) модель минерального пространства, являющуюся основой минералого-технологического картирования исследуемой площади (рис. 18).

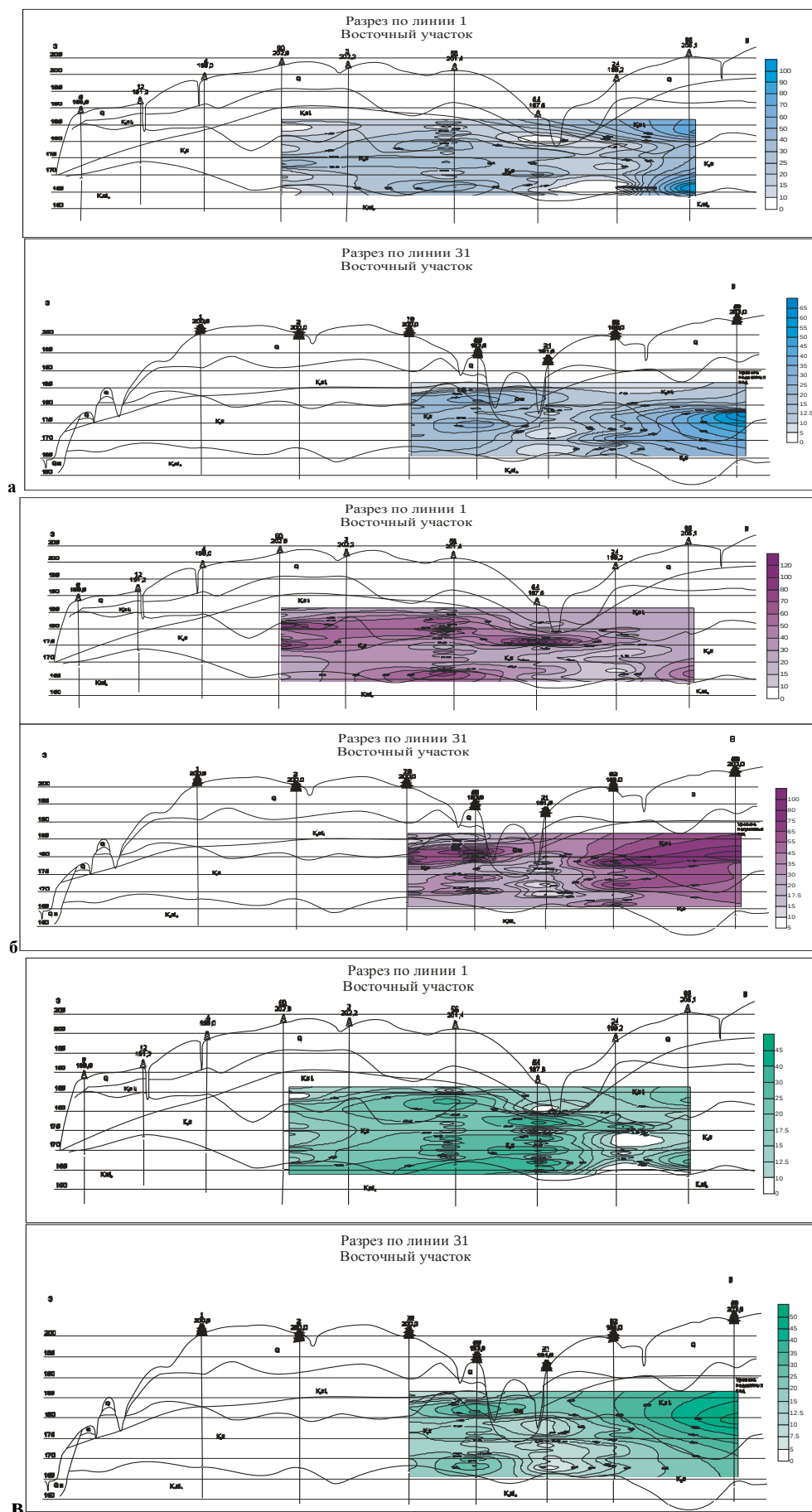
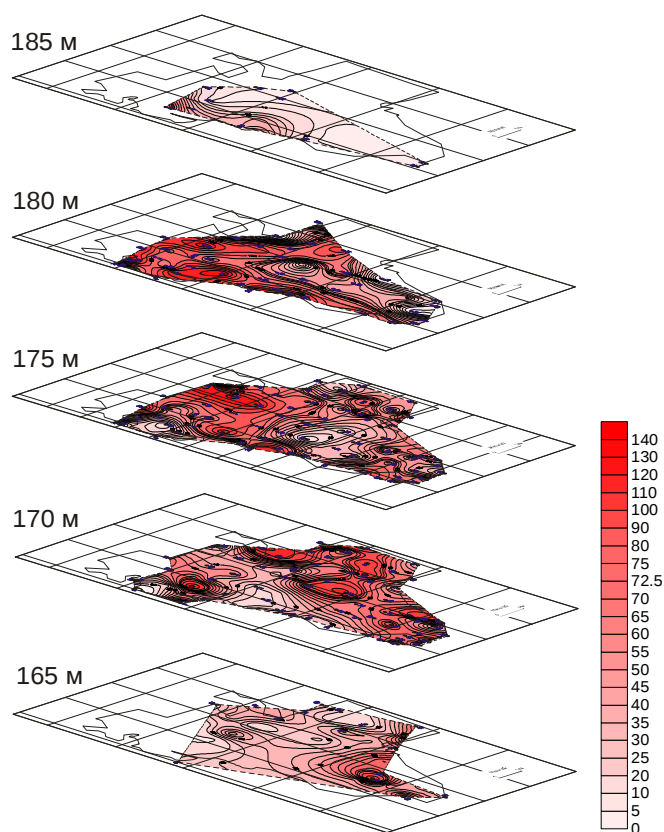


Рис. 17. Распределение в разрезе линий 1 и 31 значений отношения:
а- $ilm/leu+pseudru$, б- $ru/pseudru$, в- zr/zr_m

Рис. 18. 3-D модель (блок-диаграмма) рудного пласта Восточного участка Центрального месторождения по условному ильмениту (кг/м^3)



Положение 3. Установлена зависимость извлечения ценных компонентов и рудных минералов редкометалльно-титановых россыпей от содержания диоксидов титана и циркония, рудных минералов и тяжелой фракции в целом. Разработана система минералогических критериев оперативной оценки технологических свойств при поисках, оценке и разведке редкометалльно-титановых месторождений.

Выявленные особенности вещественного состава титан-циркониевых россыпей, влияющие на технологическую и, в конечном счете, на экономическую оценку рудных песков, относятся к 4 группам факторов: факторы химического, гранулярного, минерального состава, и факторы, связанные со свойствами рудных минералов, которые и определены в качестве критериев прогноза технологических свойств рудных песков на ранних стадиях ГРП. Проведено ранжирование критериев оценки технологических свойств по значимости и определены пределы значений каждого из них. При этом учитывается, что отрицательное влияние одного фактора может быть компенсировано совокупным влиянием других.

Апробация разработанных критериев проведена при оценке технологических свойств редкометалльно-титановых песков прогнозно-поисковых площадей Западно-Сибирской платформы: Семеновской (Тюменская обл.), Салехардской, Мансийской и Умытинской (ХМАО-Югры). Данные гравитационно-магнитного и оптико-минералогического анализов позволили провести априорную оценку прогнозных параметров предельно достижимых технологических показателей оцениваемых объектов. В качестве объекта-аналога принято Ордынское месторождение, показатели которого прошли утверждение в ФГУ ГКЗ.

В результате оценки технологических свойств проб рудных песков прогнозно-поисковых площадей Западно-Сибирской платформы по разработанным критериям (табл. 4), установлено, что по совокупности всех оцениваемых технологических

Таблица 4. Критерии оперативной оценки технологических свойств редкометалльно-титановых песков прогнозно-поисковых площадей Западно-Сибирской платформы

Фактор вещественного состава	Предел значений	Эталонный объект	Оцениваемый объект (стадия ППР)			
		Ордынское месторождение	Салехардская площадь	Умытинская площадь	Мансийская площадь	Семеновский участок
Химический состав рудных песков						
содержание TiO ₂ / ZrO ₂ %	∑ н/м 1,5	1,22 / 0,26	0,40 / 0,06	1,95 / 0,33	1,12 / 0,23	0,73 / 0,053
содержание Cr ₂ O ₃ / P ₂ O ₅ %	н/б 0,1/0,8	0,031 / 0,05	0,039 / 0,01	0,1 / 0,02	0,04 / 0,01	0,041 / 0,043
Гранулярный состав рудных песков и РМ						
продуктивный класс песков (более 80% РМ)	> 0,044мм	0,1-0,044	0,28-0,02	0,14-0,02	0,14-0,02	0,06-0,02
глинистость, %	3-5	17,48	6,17	3,54	3,48	30,42
степень сортированности (количество классов крупности, концентрирующих более 80% ПК)	3	3	4	4	3	3
доля ПК в крупных непродуктивных классах, % TiO ₂ /ZrO ₂	1,5 / 0,5	1,27 / 0,3	1,79 / 0,98	5,21 / 1,08	3,94 / 0,71	2,57 / 0,25
доля ПК в классе -0.044 мм, % TiO ₂ /ZrO ₂	5,0/5,0	9,81 / 8,56	15,13 / 5,1	6,43 / 8,72	7,23 / 10,94	43,11 / 58,92
Минеральный состав рудных песков						
содержание «условного ильменита», кг/м ³	80	79,6	48,7	87,66	72,2	43,8
доля ПК, распределенных в рудные минералы, % TiO ₂ /ZrO ₂	н/м 80/90	83,98/ 91,6	85,46 / 93,85	92,33 / 92,34	96,84 / 95,3	79,0 / 88,1
доля сростков рудных минералов с породообразующими,		-	-	-	-	-
доля хромшпинелидов, %	н/б 0,1	0,004	0,025	0,046	0,058	0,009
доля фосфатов, %	н/б 0,2	0,18	0,011	0,03	1,013	0,441
доля радиоактивных минералов, % монацит/циркон метам.	н/б 0,1 / 0,1	- / 0,01	0,001 / зн	0,001 / 0,007	0,01 / зн	0,001 / зн
Особенности свойств минералов						
содержание TiO ₂ в ильмените / рутиле, %	52/94	50,14 / 97,64	49,99 / 98,35	56,2 / 98,7	51,86 / 99,04	60,77 / 98,95
содержание ZrO ₂ в цирконе, %	60	65,78	65,3	65,73	66,03	65,78
степень измененности ильменита, %		5	5	8	8	59,46
доля зерен РМ с микровключениями	н/б 20	-	-	-	-	-
наличие пленок и наростов на поверхности зерен		-	-	-	-	-
Извлечение в концентраты, % TiO ₂ / ZrO ₂	н/м 86	86,0 / 88,13	89,01 / 84,77	87,83 / 81,66	91,87 / 71,28	30,62 / -

параметров наиболее перспективным является Умытинский участок ХМАО-Югры. Мансийский участок имеет несколько худшие характеристики вещественного состава по сравнению с Ордынским месторождением, главным образом, из-за более низкого содержания диоксидов титана и циркония в рудных песках и более высокой доли циркона в шламовом классе. Однако фактор достаточно высокого суммарного содержания рудных минералов компенсирует вышеназванную негативную характеристику вещественного состава, что в итоге позволяет рассматривать Мансийский участок как перспективный для дальнейшего изучения. Семеновский участок и Салехардская площадь признаны бесперспективными, поскольку при меньшей глинистости и более низком содержании вредных примесей, он характеризуется низким содержанием титановых минералов (0,73 и 0,4%) и циркона (0,053 и 0,06%).

На стадии поисково-оценочных работ, с целью выделения и геометризации в объеме месторождения технологических типов и сортов руд, возникает необходимость в проведении геолого-технологического картирования (ГТК). Для целей ГТК содержание извлекаемых минералов может оцениваться двумя способами: количественным оптико-минералогическим методом и прямым технологическим экспериментом и осуществляется на малообъемных технологических пробах, когда каждая проба обогащается по полной гравитационно-магнитно-электрической схеме с получением рудных концентратов. Результаты изучения вещественного состава и определения извлекаемого количества промышленных минералов подвергаются статистической обработке с определением изменчивости каждого параметра и критерия качества состава, технологических свойств опробованных рудных песков (коэффициенты вариации); парных взаимосвязей (коэффициентов парной корреляции) всех определенных значений параметров и критериев состава и технологических свойств; графо-аналитической оценки наиболее характерных выявленных зависимостей (графики, уравнения множественной регрессии и др.); наличия на месторождении технологических типов и сортов руд. Применяемая развернутая схема гравитационно-магнитного анализа проб является штатной при изучении состава рудных песков, поэтому результаты минералогического анализа характеризуют технологические свойства рудных песков. В случае принципиальной идентичности разработанной для данного объекта технологии обогащения и фракционирования проб перед минералогическим анализом, результаты количественного определения рудных минералов считаются тождественными оптимальным показателям обогащения.

Проведено определение изменчивости параметров вещественного состава и технологических показателей и их взаимосвязь (коэффициенты вариации и парной корреляции). При характеристике неравномерности состава и технологических свойств коэффициент вариации не учитывает расположение проб в пространстве. Изменчивость параметров вещественного состава и технологических свойств рудных песков, выраженная в процентах, оценивалась по коэффициенту вариации. Коэффициент вариации (KV) - это процентное отношение среднего квадратического отклонения к средней величине.

Геолого-технологическое картирование месторождения Центральное на основе статистического анализа минералого-технологических показателей проведено на основе фактического материала, полученного при научно-методическом сопровождении ПОР на месторождении, по керновым пробам из 99 разведочных скважин по трем рудным пересечениям.

В статистической обработке использованы данные гравитационно-магнитного и оптико-минералогического анализа исходных проб и продуктов фракционирования. В табл. 7 и 8 даны суммарные показатели статистической обработки по изменчивости и

взаимосвязи прогнозируемых концентратов и содержания рудных минералов в исходных песках с дополнением данных по «условному» ильмениту.

Таблица 7. Средние значения и изменчивость состава гравитационного концентрата титан-циркониевых песков при промышленной отработке месторождения (940 проб)

	Выход тяжелой фракции, %	Содержание, вес. %			Содержание, кг/куб.м			
		ильменит	рутил	циркон	ильменит	рутил	циркон	условный ильменит
Средние значения	2,22	1,02	0,26	0,21	18,82	4,81	3,96	62,67
Вариация, %	58,86	57,72	58,24	58,41	57,72	58,24	58,41	53,31

Таблица 8. Зависимость продуктивности основных рудных минералов исходных песков (940 проб)

	С	Д	Е	Ф	Г	Н	І	Ј
С выход тяжелой фракции, %	1,00	0,96	0,88	0,70	0,96	0,88	0,70	0,921
Д ильменит, %	0,96	1,00	0,83	0,64	1,00	0,83	0,64	0,893
Е рутил, %	0,88	0,83	1,00	0,79	0,83	1,00	0,79	0,962
Ф циркон, %	0,70	0,64	0,79	1,00	0,64	0,79	1,00	0,885
Г ильменит, кг/м ³	0,96	1,00	0,83	0,64	1,00	0,83	0,64	0,893
Н рутил, кг/м ³	0,88	0,83	1,00	0,79	0,83	1,00	0,79	0,962
І циркон, кг/м ³	0,70	0,64	0,79	1,00	0,64	0,79	1,00	0,885
Ј усл.ильменит, кг/м ³	0,92	0,89	0,96	0,89	0,89	0,96	0,89	1,00

На рис. 19 приведены графо-аналитические зависимости содержания основных рудных минералов и выхода тяжелой фракции или прогнозируемых выходов ильменитового, рутилового и цирконового концентратов.

Геолого-технологическое картирование Южного участка месторождения Бешпагир проведено на основе минералого-технологических показателей в результате изучения лабораторных малых технологических проб, характеризующихся различным качеством исходного сырья. Минимальное число проб для достаточно достоверной обработки при ГТК месторождений определено равным 25. Анализ результатов первичного обогащения показал, что среднее извлечение TiO_2 составило 83,20%, ZrO_2 - 94,65% при коэффициентах вариации (KV) 3,4 и 2,1%, соответственно, т.е. является весьма стабильным при весьма существенном различии содержаний полезных компонентов в исходных песках: от 38,85 до 171,44 кг/м³ по сумме тяжелых и от 1,45 до 6,3% по сумме рудных минералов с коэффициентом вариации, соответственно, 53,9 и 54,3%, а по рудным минералам от 48,6 до 59,9 %. Низкие стабильные коэффициенты вариации величин извлечения в коллективный гравитационный концентрат TiO_2 (3,4%) и ZrO_2 (2,1%) при стабильном качестве концентрата (KV для содержания TiO_2 - 24,7% и ZrO_2 - 34,9%) позволяют сделать вывод, что все МТП относятся не только к одному технологическому типу, но и к одному технологическому сорту, а с учётом предыдущих исследований, все рудные пески Бешпагирского месторождения относятся к одному (единому) технологическому типу – гравитационному с использованием в промышленных масштабах винтовых шлюзов.

Оценка взаимосвязи параметров вещественного состава и технологических свойств исследованных проб по величине коэффициентов парной корреляции (r) свидетельствует о наиболее тесной связи извлечения диоксидов титана и циркония с их содержанием в исходных пробах.

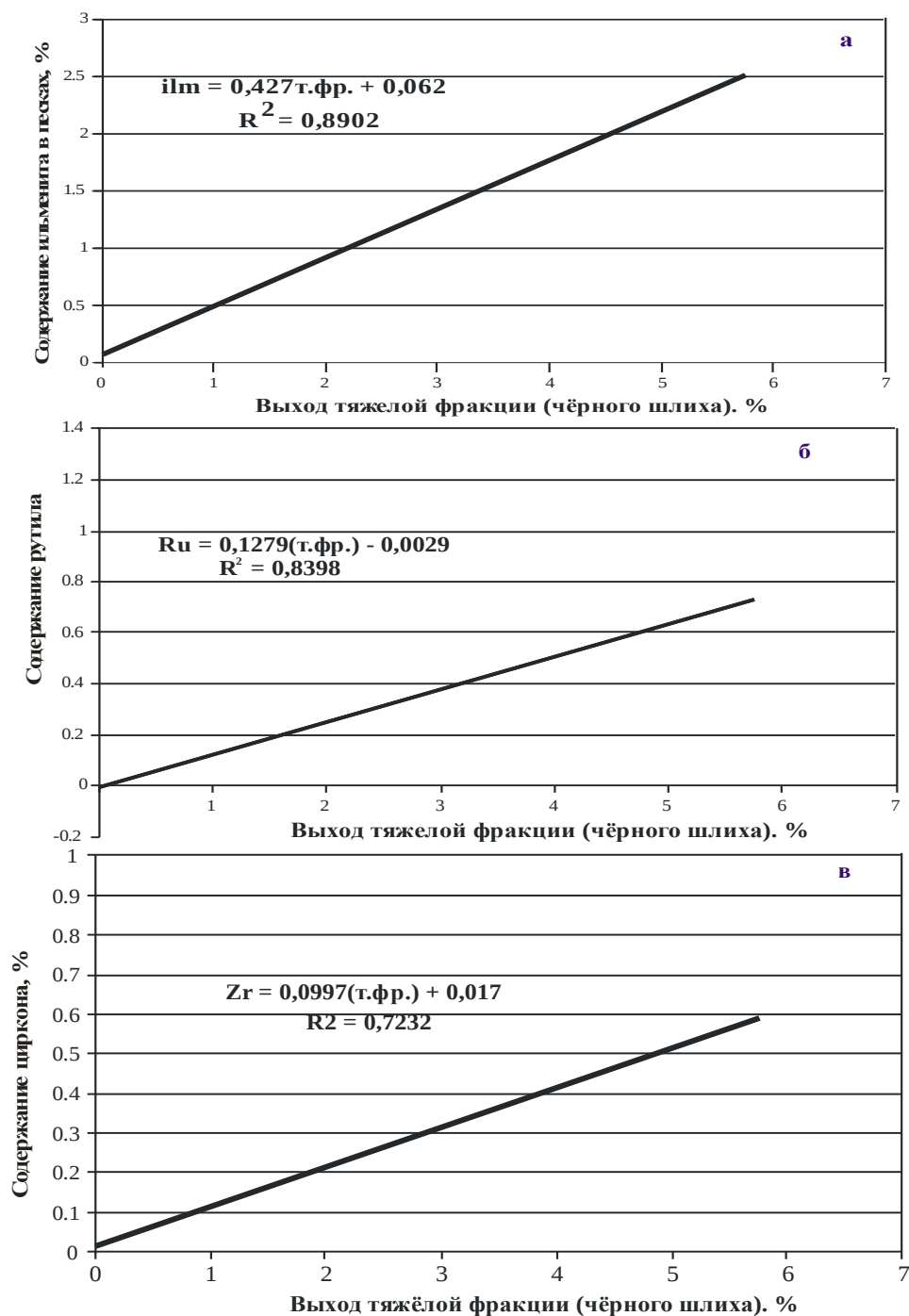


Рис. 19. Прогнозируемый выход рудных концентратов от выхода коллективного гравитационного концентрата при промышленной отработке месторождения: а - ильменитового, б - рутилового, в - цирконового.

Прямым технологическим экспериментом рассчитаны зависимости извлечения диоксидов титана и циркония в коллективный концентрат от их содержания в исходных песках (рис. 20). Статистическая обработка полученных результатов показала тесную связь содержаний в исходных песках диоксидов титана и циркония: коэффициент парной корреляции $r = 0,88$. Связь извлечения диоксида титана с содержанием его в исходной руде для всех проб характеризуется значением $r = 0,80$. Коэффициент корреляции показателей извлечения TiO_2 в гравитационный концентрат и содержания его в исходных песках высокий ($r=0,89$). Связь извлечения диоксидов титана и циркония от содержания суммы тяжелых минералов (черного шлиха) в рудных песках ме-

нее тесная и характеризуется значениями $r=0,845$ для TiO_2 и $r=0,55$ для ZrO_2 . Установленные линейные зависимости с высокими значениями коэффициентов парной корреляции ($r=0,90$ для TiO_2 и $r=0,77$ для ZrO_2) позволяют математическим путем по формулам: $y=4,1934x+76,107$ для TiO_2 и $y=4,51x+92,797$ для ZrO_2 оценивать параметр «извлечение...» в рудах с различными качественными характеристиками. Соответствующие графо-аналитические зависимости с приведенными формулами и величинами достоверности аппроксимации, пригодны для прогнозирования параметров вещественного состава и технологических свойств.

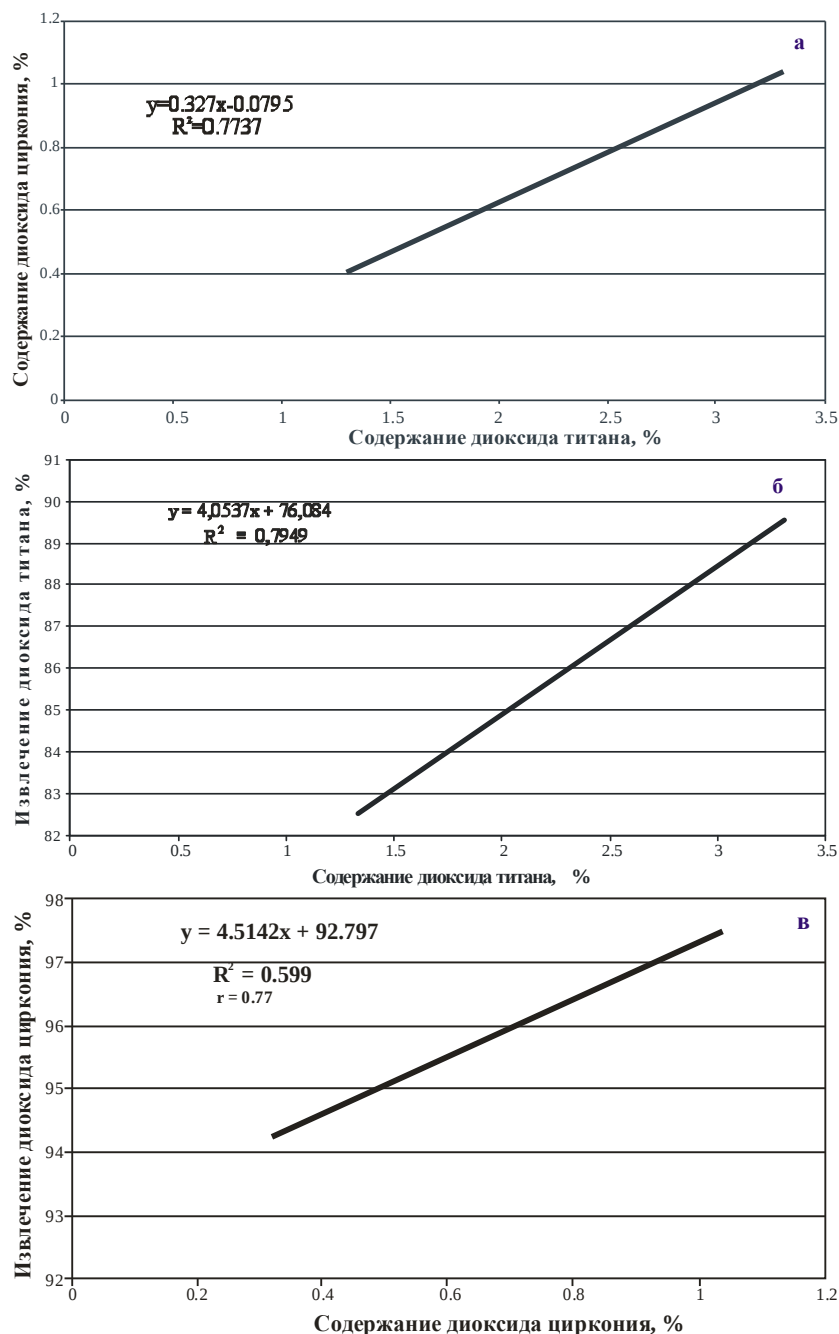


Рис. 20. Взаимосвязь содержаний диоксидов титана и циркония в исходных песках (а), извлечения TiO_2 (б) и ZrO_2 (в) в коллективный гравитационный концентрат от содержания их в исходных песках.

Рассчитаны ожидаемые показатели получения кондиционных концентратов на основе результатов исследований средней пробы песков и фактических содержаний ценных компонентов в исследовавшихся пробах. Такой расчёт достаточно кор-

ректен с учётом высокой степени зависимости извлечений и содержаний ценных компонентов, выявленной в результате проведенных исследований.

Полученные данные и результаты их анализа использованы для составления геолого-технологических карт и планов отработки месторождений Центральное и Бешпагирское.

Положение 4. Разработаны технологии комплексной переработки редкометалльно-титанового сырья, позволяющие, наряду с основными рудными концентратами, получать попутные товарные продукты - золото, глауконит, фосфаты, кварцевые и кварц-полевошпатовые пески, что обеспечивает повышение экономической эффективности освоения месторождений.

Принципиально новые технологические решения для процессов переработки минерального сырья можно группировать по главным направлениям: геотехнологические, новые методы переработки руд, использование высокопроизводительного и высокоселективного технологического оборудования.

Большая глубина залегания продуктивных пластов и, соответственно, огромные затраты на вскрышные работы стали причиной отнесения ряда месторождений редкометалльных песков к категории непромышленных. Результаты технологических испытаний, проведенных на россыпях Тарского, Ордынского, Лукояновского месторождений, показали, что в процессе СГД на 40-60% снижается содержание глинистой составляющей в песках при улучшении качества добытого сырья и конечных продуктов технологической схемы. Внедрение метода СГД песков и повышение эффективности технологических схем с использованием нового оборудования (в частности – винтовых шлюзов, роторных магнитных сепараторов с высокой индукцией поля, пластинчатых электрических сепараторов) позволили повысить рентабельность переработки рудных песков. Особого внимания заслуживают ресурсы нетрадиционных элементов в редкометалльно-титановых россыпях, в том числе золота, редких (Hf, Nb, Ta, Sn, Sc, Cr), радиоактивных (Th, U) и редкоземельных элементов (Ce, La, Y, Yb и др.). Доля этих компонентов в реализации товарной продукции может составить 10-15%. Анализ химического состава рудных минералов россыпей позволяет заключить, что в продуктивных песках и рудных концентратах в повышенных количествах присутствуют редкие металлы и радиоактивные элементы. При оценке запасов россыпей рассматриваемых месторождений элементы-примеси в должной мере не изучались, за исключением россыпей Туганского месторождения.

Для большинства редкометалльно-титановых россыпей характерно наличие в песках мелкого и тонкого золота от первых миллиграммов до первых граммов на кубометр, что неоднократно отмечалось при исследовании этих руд на обогатимость.

Определение морфологии золота в титан-циркониевых россыпях и возможности его попутного извлечения при переработке рудных песков. Значимое содержание золота (более 0,1 г/т) присутствует в исходных рудных песках месторождений Центральное (Тамбовская обл.) и Бешпагирское (Ставропольский край), которые были изучены детально. Исследования проводились на малообъемных технологических пробах массой 50-100 кг. Определялось содержание золота в пробах рудных песков, распределение его по классам крупности в минеральных группах, а также формы нахождения, состояние поверхности частиц и характера вкрапленности.

Месторождение Центральное. Исследование проведено на узко классифицированном материале исходных рудных песков с учетом установленного содержания и распределения основной массы золота. В крупно- и мелкогалечном материале (+056 мм) после обработки концентрированной соляной кислотой визуально свободных зе-

рен Au не зафиксировано. Золото установлено в гравитационных концентратах. По данным оптико-минералогического анализа коллективного гравитационного концентрата и мономинеральных фракций рудных минералов установлено, что в исследуемых песках нет минералов, в которые золото может входить изоморфно, (арсенопирит, сульфиды меди) или удерживать коллоидное золото в адсорбированном состоянии (углеродистое вещество, глинистые минералы). Установлено, что основной формой нахождения золота является самородная. Золото находится в свободном состоянии, не образуя сростков с другими минералами. Отмечено, что по массе преобладает золото класса 0.14-0.074 мм, частицы менее 0,044 мм в материале отсутствуют, поскольку золотины такой крупности уверенно удерживаются на винтовом шлюзе и доводочном лотке. Установлено, что выделенное из гравитационных концентратов разных гранулометрических классов самородное золото существенно различается по морфологии (рис. 21).

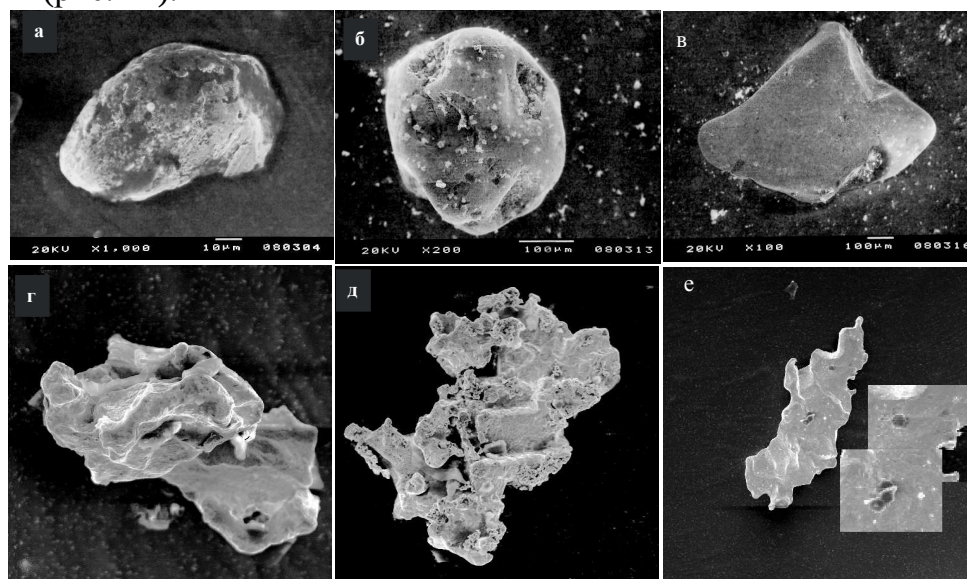


Рис. 21. Частицы самородного золота (Центральное месторождение) вверху: первой разновидности яйцевидной (а), сферической (б) и неправильной (в) формы, внизу: второй разновидности – скелетные кристаллы без признаков окатывания и истирания с наростами галогенидов (г), пластинчатые интерстициальные формы с ультрамелкими полусферическими выделениями у краев пластинок (д) и с мелкими таблитчатыми наростами апатита (е). Изображение в отраженных электронах.

В классах крупности менее 0.14 мм золото представлено изометричными зернами комковидной формы, умеренно и сильно окатанными, с корродированной мелкоямчатой поверхностью. Изредка встречаются толстотаблитчатые золотины, наиболее характерной особенностью которых является глубокая коррозия поверхности. В классе - 0.5+0.14 мм превалирует золото пластинчатой формы, а степень окатанности незначительная или признаки ее вовсе отсутствуют, наблюдаются лишь загибы тонких краев зерен. На некоторых зернах развиты многочисленные наросты ультрамелких частиц почти сферической формы, типичных для «нового» золота в аллювиальных россыпях, которые отличаются и по элементному составу. Пленки оксидов железа, алюминия и кремния на нем отсутствуют, в незначительных количествах присутствует серебро. Проба золота 950-980 ед. Среди нарастающих на самородном золоте минеральных форм встречен апатит. Значительная часть самородного золота выходит за пределы гранулометрического класса, с которым оно выделяется при классификации, и имеет меньшие размеры. Возможно, первоначально зерна золота присутствовали в виде агрегатов с другими минералами, а при классификации и обогащении произош-

ло их разрушение. Содержание Au в исходных песках проб по данным пробирного анализа составляет 0,085-0,14 г/т. Размер частиц свободного золота 0,14-0,05 мм, большая его часть относится к классу -0,12 мм. Ожидаемое извлечение золота из продуктивной части песков в черновой концентрат - 80-85%, качество золотосодержащего концентрата после его доводки - 1,5-2 кг/т.

Бешпагирское месторождение. Содержание золота в пробе исходных песков по результатам пробирного анализа составило 0,083г/т. Установлено, что золото на 90,7% концентрируется в классе -0,14+0,044мм. Золото полностью раскрыто и несет ряд признаков транзита, что вполне согласуется с представлениями о генезисе месторождения (рис. 22).

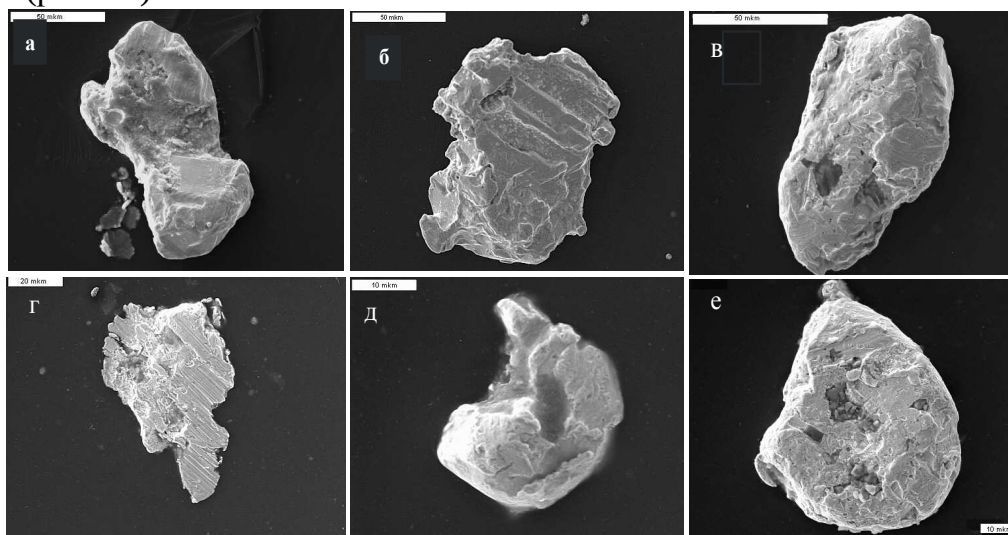


Рис. 22. Частицы самородного золота (Бешпагирское месторождение) вверху: а- слабо окатанная частица самородного золота с протравленной поверхностью и множеством коккоидных бактерий, б- частица без признаков истирания и окатывания, поверхность представляет собой отпечаток рельефа граней другого минерала, в- умеренно окатанная частица золота с заваленными краями и шрамами (черное включение - силикат Са и Fe), г- плоская золотина с многочисленными шрамами на базисной поверхности (черные включения – кварц), д- микрочастица изометричной формы, обусловленной заваливанием тонких краев первоначально плоской золотины, е- умеренно окатанная частица золота с корродированной поверхностью и шрамами (черное - включения кварца, в нижней части - коккоидные бактерии). Изображение в отраженных электронах.

В связи с тем, что все золото попадает в категорию тонкого, оно характеризуется некоторыми особенностями морфологии, не свойственными "обычному" россыпному золоту, т.е. золоту из аллювиальных россыпей крупностью более 0,25мм.

Тонкое золото, по-видимому, транспортируется преимущественно во взвешенном состоянии и окатывается несравненно слабее, чем крупное. Следы транзита выражаются в образовании шрамов и закатывании тонких краев. В то же время многие частицы сохраняют остроугольную форму, либо несут на поверхности отчетливые отпечатки микрорельефа минералов, с которыми золото срасталось в первичных рудах коренного источника. Внутреннее строение золота неоднородное. Часто в нем наблюдаются включения других минералов, преимущественно кварца а также силикатов Са и Fe. Проба золота изменяется от 650 до 1000 ед. На части золотин, кроме признаков коррозии, обнаружены нарастания гидроксидов железа, образующие сплошную корочку.

Показана возможность при переработке рудных песков попутного выделения золотосодержащего продукта качеством до 145г/т золота, т. е до 70 мг золота с каждой тонны перерабатываемых исходных песков, при извлечении 85-87% золота. При обогащении редкометалльно-титановых россыпей золото может внести свой вклад в извлекаемую ценность сырья только при попутном его извлечении с основными рудными компонентами.

Минералого-технологические исследования фосфорита, как попутного товарного продукта. С целью получения фосфатной муки были исследованы две пробы первичных фосфоритовых концентратов (Восточный участок Центрального месторождения) - материал крупностью + 25 мм и – 25 + 2,5 мм. Минеральный состав проб достаточно однороден, в основном - смесь апатита и кварца примерно в равном соотношении и незначительные примеси глинистых минералов, слюды и аморфизованного фосфатного вещества. Качество исходных продуктов по основному компоненту (12,56-14,97 % P_2O_5) не удовлетворяют требованиям для производства фосфоритовой муки (содержание P_2O_5 регламентируется значениями более 19%). Причиной невысокого качества первичных концентратов по основному компоненту является тонко вкрапленный характер выделений основного компонента и мелкозернистость кварца. Полная раскрываемость материала достигается при размерности – 0,1 мм, что представляет определенные технологические трудности, поскольку фосфориты и кварц характеризуются резким различием механической прочности и в ходе помола возможно избирательное распределение P_2O_5 по классам крупности. В результате исследований была разработана технология получения фосфатной муки марки Б ОКП 2183100020 или марки В ОКП 21 8310 0030. Доля усвояемой формы (лимоннорастворимой) P_2O_5 во всех полученных продуктах выше нормируемого показателя (25 отн.%). Невысокое содержание вредных компонентов (Fe_2O_3 , Al_2O_3 , MgO , CO_2) определяет возможность переработки полученных продуктов на растворимые фосфорные и фосфорсодержащие удобрения

Минералого-технологические исследования глауконита, как попутного товарного продукта многоцелевого назначения. Глауконит является одним из наиболее характерных аутигенных минералов редкометалльно-титановых россыпей. Его содержания в рудных песках могут составлять 4-5 %. Он рассматривается в качестве важного попутного компонента комплексных россыпей и может выделяться в самостоятельный промышленный концентрат. Содержание глауконита в рудных песках Центрального месторождения варьирует в широких пределах, составляя в среднем по Восточному участку более 10 %. Глауконит накапливается в основном во фракции песков плотностью < 2.7 г/см³ в классе -0.1+0.074 мм и во фракции 2.7-3 г/см³ в классе крупности -0.25+0.14 мм, концентрируясь в продуктах магнитной сепарации этих фракций, где содержится около 80 % его общего содержания в продуктивной части песков. Средний состав глауконитов в рудных песках месторождения Центральное (в %): Fe_2O_3 –18.4, Al_2O_3 –11.2, SiO_2 –45.2, K_2O –6.55, MgO –2.35, CaO –0.48, Na_2O –0.45.

Выявлено, что глауконит в рудных песках месторождения Центральное представлен несколькими морфологическими разновидностями: зернами округлой формы (возможно, унаследовавшими первичную глобулярную форму), глобулами и их гроздевидными агрегатами, зернами переходного типа «слюда - глауконит» пластинчатой формы, блоками (агрегатами) субпараллельно расположенных пластин (рис. 23). Преобладают полуокатанные «обломки» (агрегаты), имеющие тонко-пористую поверхность коррозионного типа. Около 98% зерен глауконита окрашены в фисташково-зеленый цвет различной интенсивности и незначительное количество (до 1,5%) - отчетливо проявленную синевато-зеленую («глауконитовую») окраску. Последние

имеют более гладкую, блестящую поверхность и более высокую степень сохранности зерен, форму выделений которых можно назвать глобулярно-агрегатной. Глауконит представлен двумя основными типами зерен: глобулярные (неизмененные) и корродированные (измененные) неправильных форм. На поверхности зерен второго типа установлены разнообразные структуры химической коррозии,

Микроконкреции могут слагаться минералами группы глауконита со структурой слюды или смешанно-слоистыми глауконит-сметитовыми образованиями. Зерна глауконита, имеющие слюдяную структуру, характеризуются гладкой ровной поверхностью, не содержащей трещин синерезиса. Глауконитсодержащие микроконкреции с разбухающей фазой имеют на поверхности сеть трещин синерезиса. Чем больше процент разбухающей фазы, тем большая сеть трещин покрывает зерно.

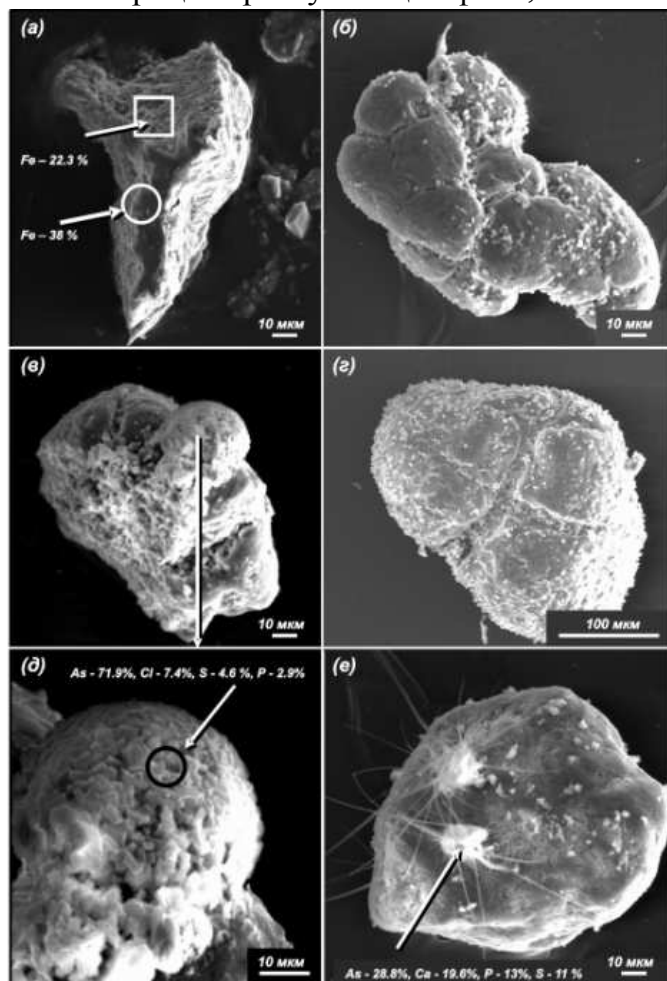


Рис. 23. Зерна глауконитов Центрального титано-циркониевого месторождения (по данным СЭМ): а – зерно глауконита, подвергшееся *in situ* значительной химической коррозии, которая сопровождается выносом железа; б, в – зерна аутигенного глауконита глобулярного строения, покрытые «сыпью» новообразованных минеральных фаз; г, д – новообразование на поверхности глауконита с высоким содержанием мышьяка; е – микрофоссилии на поверхности окатанного зерна глауконита слоистого строения с высоким содержанием мышьяка. СЭМ.

Благодаря своим специфическим свойствам (наличию красящих оксидов, способности к катионному обмену, смешанно-слоистой структуре), глауконит представляет собой ценное промышленное сырье различного назначения, главным образом, в качестве мощного сорбента, компонента питательных сред, при производстве пигментов и минеральных удобрений.

Глауконитовые продукты проанализированы на содержание основных элементов и лимитируемых примесей с учетом требований по областям применения. Полученные результаты позволили разработать систему критериев оценки качества промышленных концентратов для производства пигментов и сорбентов (табл. 9). Перспективы использования глауконита в качестве удобрений определяются его химическим составом и структурно-текстурными особенностями. Определяющим моментом является высокое содержание калия (не менее 3%) - важного питательного элемента, положение которого в структуре таково, что при склонности зерен глауконита

Таблица 9. Критерии, определяющие технологические свойства глауконитовых продуктов

Критерии	Продукты переработки, определяемые параметры и методы их анализа	
	Пигменты	Сорбенты
Фазовые	1. Суммарное содержание глауконита, не менее 90% (РКФА) 2. Соотношение разбухающих/неразбухающих слоев ~ 1/2 (РКФА). 3. Потеря массы при нагреве, более 9%мас (ДТА) 4. Индуктивная намагниченность J_i в постоянном магнитном поле $H=160\text{кА/м}$ ($B=200\text{мТ}$) не менее $0,04 \text{ мА}\cdot\text{м}^2/\text{norm.div}$ (ДТМА)	1. Суммарное содержание глауконита, не менее 35% (РКФА) 2. Соотношение разбухающих/неразбухающих слоев ~ 2/1 (РКФА) 3. Содержание цеолита (сорбент для разливов нефти на поверхности), не менее 20% (РКФА) 4. Потеря массы при нагреве менее 5%мас (ДТА) 5. Индуктивная намагниченность J_i в постоянном магнитном поле $H=160\text{кА/м}$ ($B=200\text{мТ}$) не менее $0,02 \text{ мА}\cdot\text{м}^2/\text{norm.div}$ (ДТМА)
Морфологические	1. Преобладание неизмененных глобулярных зерен (ПЭМ, РЭМ) 2. Выдержанность элементного состава глобул (СЭМ)	1. Преобладание измененных монтмориллонизированных зерен с поверхностью типа шагрени (ПЭМ, РЭМ)) 2. Значительная дисперсия содержаний элементов на поверхности зерен (СЭМ)
Химические	1. Повышенное содержание элементов-хромофоров Fe^{3+}, Fe^{2+}, Ti, Co, Ni, Cr, Mn, Cu, 2. Соотношение $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ не менее 17 (хим. анализ). Преобладание Fe^{3+}, находящегося в транс-позиции в структуре алюмосиликата 3. Значительное искажение симметрии решетки координационных полиэдров, наличие d-d переходов и переноса заряда $\text{O}^{2-} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$	1. Соотношение $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ не более 8 (химический анализ)
Технологические	1. Остаток на сите 0,050мм, % не более 0,1 2. Маслосмкость, не более 35 г/100г 3. Укрывистость, не более 170 г/м² 4. Цвет – оливково-зеленый	1. Фракционный состав, содержание частиц менее 1мм не менее 100% 2. Текстульные характеристики: по адсорбции азота : удельная поверхность (методом БЭТ) не менее 20,56 м²/г, суммарный объем пор не менее 0,033 см³/г - в). Пористость, не менее 8, 1% 3. Обменные катионы, мг-экв, не менее: Са-10, Na-2, Mg-6, К-1 4. Сорбционная емкость по нефтепродуктам, не менее 1кг на 1кг адсорбента: бензин -5,0, дизельное топливо- 4,0, машинное масло -2,7 5. Очистка питьевой воды активированным глауконитом: сорбционная ёмкость по Fe-72,4 мг/дм³ 6. Очистка сточных вод, поглотительная способность, мг-экв./г: по Cu-781,2, по Ni -342,4

к деструкции, калий переводится в легко усвояемую форму. Скорость разрушения зерен глауконита в естественных условиях низкая, что делает глаукониты удобрением пролонгированного действия.

Изучение минерального состава и особенностей глауконита рудных песков Центрального месторождения позволило, наряду с товарными рудными концентратами, получить в качестве товарной продукции высоколиквидный глауконитовый концентрат (рис. 24) и определить оптимальные области его использования.

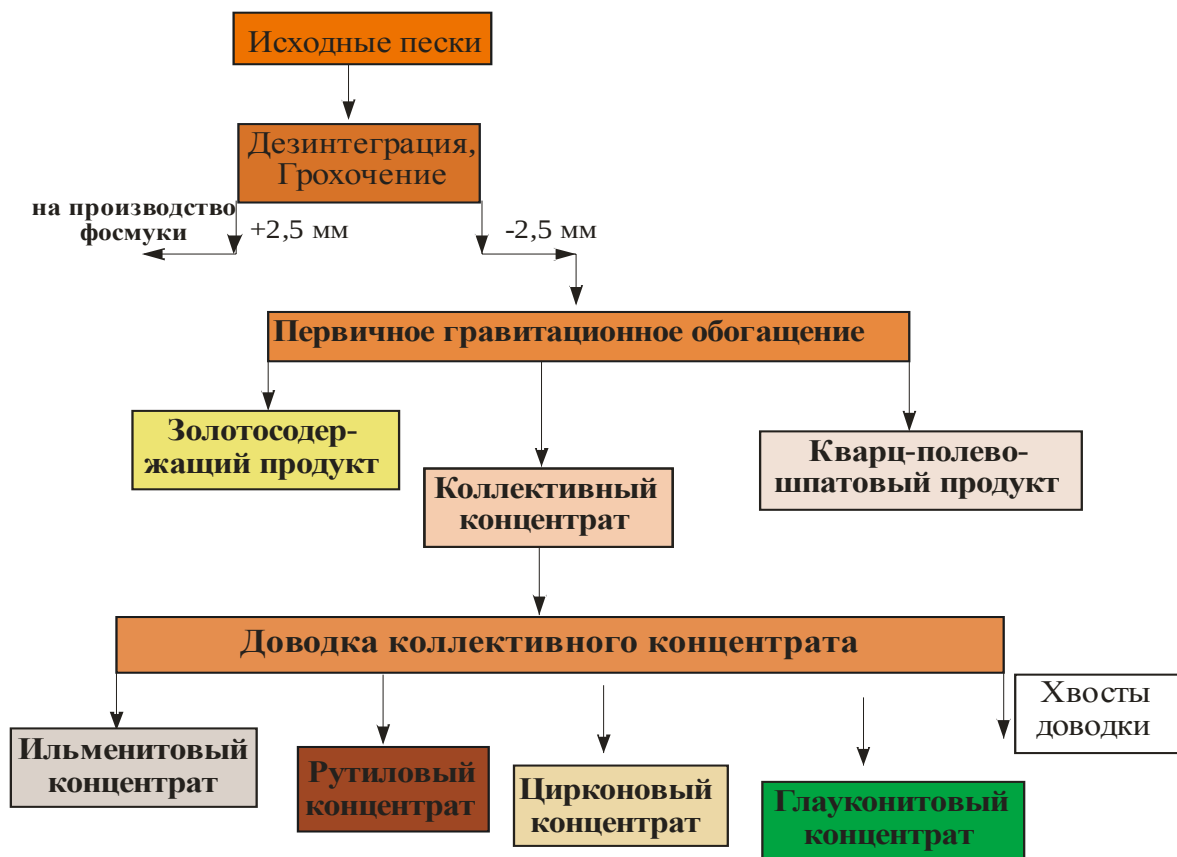


Рис. 24. Принципиальная технологическая схема комплексной переработки рудных песков Восточного участка месторождения Центральное

При переработке редкометалльно-титановых россыпей, кроме основных рудных концентратов, можно получать в виде попутной нерудной продукции кианит, силлиманит, ставролит, эпидот, гранат, кварц-полевошпатовые пески и породы вскрыши. Доля нерудной части составляет от 20% до 50% и определяется спектром попутной продукции (табл. 10).

Таблица 10. Соотношение стоимости товарной продукции в общем балансе для редкометалльно-титановых россыпей России

Показатели	Месторождения						
	Центральное	Бешпагирское	Лукояновское	Туганское	Тарское	Георгиевское	Ордынское
Основные товарные концентраты	51,5	69,5	93,5	51,5	74,9	83,9	54,2
Попутные продукты	48,2	21,5	6,5	48,5	25,1	16,1	45,8

При использовании принципиально новых технологий переработки редкометалльно-титанового сырья с получением максимального спектра продукции, эффективность освоения россыпей повышается (табл. 11).

Таблица 11. Влияние новых технологических решений на ТЭП освоения редкометалльно-титановых россыпных месторождений России

Параметры	Провинция				
	Восточно-Европейская		Западно-Сибирская		Северо-Кавказская
	Месторождение				
	Центральное Восточный участок	Лукояновское Итмановский участок	Ордынское Филипповский участок	Тарское Левобережный участок	Бешпагирское Южный участок
Качество концентратов					
цирконовый (содержание ZrO ₂ , %)	60,0 / 65,1	62,7 / 65,2	63,45 / 65,2	65,0 / 65,2	65,0 / 65,4
ильменитовый (содержание TiO ₂ , %)	57,52 / 59,0	-	47,3 / 49,4	52,0 / 52,2	52,0 / 62,2
рутиловый (содержание TiO ₂ , %)	95,0 / 95,1	94,2 / 95,19	84,0 / 93,75	94,0 / 94,1	94,0 / 94,5
Извлечение рудных минералов в концентрат, %					
циркон	87,0 / 88,76	84,42 / 88,9	79,75 / 81,6	72,0 / 87,04	86,2 / 86,6
ильменит	73,0 / 89,33	-	82,63 / 83,3	72,0 / 91,6	84,72 / 86,2
рутил	70,0 / 88,6	84,24 / 85,7	84,1 / 85,4	72,0 / 76,2	78,4 / 79,8
Потери с глинистой фракцией, %					
ZrO ₂	1,2 / 0,65	15,14 / 4,96	23,65 / 13,2	12,75 / 2,3	9,8 / 2,57
TiO ₂	1,8 / 1,45	9,32 / 2,84	11,46 / 9,81	17,56 / 3,05	15,2 / 0,57
Содержание экв. %Th в цирконовом концентрате	0,21 / 0,089	0,09 / 0,085	0,09/ 0,084	0,26 / 0,092	0,17/ 0,085
Срок возврата инвестиций в освоение, лет	7,1 / 4,0	11,2 / 5,7	9,3 / 6,1	6,3 / 4,0	8,5 / 5,5
ВНД, %	18,5 / 22,4	7,6 / 13,2	6,9 / 12,4	15,1 / 20,0	14,2 / 23,4

- В числителе - по технологиям до 2000г, в знаменателе - по новым технологиям

Заключение. С использованием рационального комплекса методов установлены особенности вещественного состава российских редкометалльно-титановых россыпей, перспективных для освоения; проанализированы причины возможных потерь полезных компонентов на всех стадиях обогащения россыпей, вытекающие из особенностей их вещественного состава, установлены факторы вещественного состава, влияющие на качество товарных концентратов. Анализ и обобщение данных по вещественному составу рудных песков редкометалльно-титановых месторождений России позволили установить специфические особенности россыпных провинций, которые определяют выбор технологических схем их переработки и дают возможность влиять на технологические показатели переработки рудных песков. В пределах каждой провинции определены объекты-аналоги соответствующего ранга сходного геолого-промышленного типа, что позволяет проводить априорную количественную оценку прогнозных ресурсов новых месторождений и технологических свойств рудных песков.

Разработаны критерии прогноза технологических свойств рудных песков на ранних стадиях ГРП и определены пределы значений каждого из них. Апробация разработанных критериев оценки технологических свойств проб редкометалльно-титановых песков прогнозно-поисковых площадей Западно-Сибирской россыпной провинции показала, что они могут успешно использоваться на ранних стадиях геологоразведочных работ для обоснования целесообразности дальнейшего изучения новых объектов, определения основных направлений создания оптимальной технологии обогащения при дальнейших исследованиях.

Определены корреляционные связи главных параметров вещественного состава и технологических показателей обогащения редкометалльно-титановых россыпей с целью их применения при минералого-технологическом картировании.

Комплексный характер редкометалльно-титановых россыпей обуславливает специфику их изучения: применение специальных методов оценки золотоносности, изучение возможности получения всей номенклатуры возможной попутной продукции, что способствует повышению эффективности освоения месторождений.

Установлены, с учетом особенностей состава и свойств породообразующих нерудных минералов (глауконит, фосфориты), возможности получения попутной товарной продукции и перспективные области ее применения в народном хозяйстве в качестве пигмента, сорбента и минерального удобрения пролонгированного действия.

Теоретические и практические результаты диссертационной работы были использованы при совершенствовании технологических схем обогащения титанциркониевых россыпей Центрального, Ордынского, Бешпагирского, Лукояновского и Тарского месторождений, в разработке технологических регламентов для проектирования ГОКов и ТЭО разведочных кондиций.

Публикации по теме диссертации

1. Левченко Е.Н., Гондаревская Г.Д., Бычкова М.И., Ангелова С.М., Малюк О.П. Использование сверхпроводящих магнитных систем при обогащении шламов. Сб. «Методы исследования технологических свойств редкометалльных минералов». М.: ИМГРЭ, 1985. С. 58-62.

2. Левченко Е.Н. Влияние способа добычи редкометалльных песков на их вещественный состав и технологические свойства. Сб. «Вещественный состав, добыча и обогащение руд редких металлов». М.: Гиредмет, 1985. С. 56-59.

3. Левченко Е.Н., Ангелова С.М., Малюк О.П. Применение процессов магнитной сепарации в технологических схемах обогащения руд цветных и редких металлов. Сб. тезисов «Научно-практические проблемы технологического перевооружения предприятий цветной металлургии». Красноярск. НТО цветной металлургии. 1986. С. 28-34.

4. Зубков А.А., Левченко Е.Н. Технология обогащения тонкозернистых разновидностей циркона. //Цветные металлы. 1988. № 5. С. 12-15.

5. Левченко Е.Н. Технологическая оценка минерального сырья. Методы исследования. М.: Недра, 1990. С.127-130.

6. Левченко Е.Н., Бесчастный А.М., Ницевич О.А. Технология комплексной переработки редкометалльных песков при добыче способом СГД. //Горный журнал. 1996. № 4. С. 17-21.

7. Левченко Е.Н., Башлыкова Т.В., Амосов Р.А., Макавецкас А.Р. и др. Попутное извлечение золота из комплексных редкометалльных песков. М.: ВВЦ, 1998. С. 1-4.

8. Чантурия Е.Л., Левченко Е.Н., Башлыкова Т.В., Амосов Р.А. Использование новых методов и технологий при изучении комплексных редкометалльных песков. Материалы международного совещания "Неделя Горняка", М., 1999. С. 12-20.

9. Бабичев Н.И., Либер Ю.В., Кройтор Р.В., Левченко Е.Н. Скважинная технология добычи титан-циркониевых песков Тарского месторождения. //Горный информационно-аналитический бюллетень. 1999. № 2. С. 32-40.

10. Левченко Е.Н., Башлыкова Т.В., Чантурия Е.Л., Макавецкас А.Р. Использование имидж-анализа для прогноза обогатимости редкометалльных руд и россыпей на ранних стадиях поисково-оценочных работ. Сб. «Благородные и редкие металлы», 3-я Международная конференция «Благородные и редкие металлы-2000». Донецк, 2000. С. 202-204.

11. Тигунов Л.П., Левченко Е.Н. Скважинная технология добычи твердых полезных ископаемых в структуре горно-обогатительных комплексов. Сб. «Развитие идей И.Н. Плаксина в области обогащения полезных ископаемых и гидрометаллургии». М.: МИСиС, 2000. С. 89.

12. Левченко Е.Н., Башлыкова Т.В., Чантурия Е.Л. Использование новых методов и технологий при изучении комплексных редкометалльных песков. //Цветные металлы. 2000. № 5. С. 8-12.

13. Остроумов Г.В., Соколов Ю.Ф., Петрова Н.В., Левченко Е.Н. и др. Повышение эффективности освоения редкометалльных месторождений путем внедрения новых технологий. Сб. материалов НП конференции «Проблемы освоения резервных месторождений России». М.: ВИМС, 2000. С. 3-8.

14. Левченко Е.Н. Использование нового оборудования при переработке титан-циркониевых россыпей. В сб.: Геологическая служба и минерально-сырьевая база России на пороге XXI века. С-Петербург, 2000. Кн. 4. С. 407-409. CD-версия.

15. Левченко Е.Н., Максимов А.П. Новые данные по изучению вещественного состава и разработки Тарской россыпи. Сб. материалов 3-я НП конференции «Природа, природопользование и природоустройство Омского Прииртышья». Омск, 2001. С.123-125.

16. Левченко Е.Н., Башлыкова Т.В., Амосов Р.А. Изучение морфологии золота в титано-цирконовых песках Центрального месторождения и технология его извлечения. В сб. «Редкие металлы Украины – взгляд в будущее». Киев: Институт геологических наук НАНУ, 2001. С.77-79.

17. Левченко Е.Н. Использование нового оборудования при переработке титано-циркониевых россыпей. Сб. «Редкие металлы Украины – взгляд в будущее». Киев: Институт геологических наук НАНУ, 2001. С. 80-88.
18. Левченко Е.Н., Боброва О.В., Живайкина А.А. Изучение возможности получения высокосортных кварцевых концентратов из исходных песков Егановского месторождения. Сб. тезисов III Международного конгресса обогатителей стран СНГ. М.: МИСиС, 2001. С. 14-17.
19. Левченко Е.Н. Хвосты обогащения кварцевых песков - как источник попутного получения концентратов редких металлов», труды 1 Международной научно-практической конференции «Техногенные россыпи. Проблемы. Решения». Симферополь-Судак, 2002. С.65-72.
20. Мучник С., Левченко Е.Н., Боброва О.В. Новый вибрационный грохот “Ultimate Screener™”. Сб. тезисов IV конгресса обогатителей стран СНГ. М.: МИСиС, 2003. Т.2. С. 14-16.
21. Улубабов Р.С., Левченко Е.Н. Повышение эффективности обогащения титан-циркониевых россыпей, Сб. тезисов IV конгресса обогатителей стран СНГ. М.: МИСиС, 2003. Т.1. С. 97-99.
22. Веремеева Л.И., Левченко Е.Н., Линде Т.П., Пруцкий Н.И. и др. Северный Кавказ – перспективная для промышленного освоения титан-циркониевая провинция России. //Разведка и охрана недр. 2004. № 3. С. 5-15.
23. Левченко Е.Н., Шадерман Ф.И. Новые подходы при извлечении сырья с трудно извлекаемыми компонентами. //Разведка и охрана недр. 2004. № 3. С. 91-94.
24. Кременецкий А.А., Левченко Е.Н., Усова Т.Ю. Роль технологии переработки минерального сырья на повышение эффективности ГРП и инвестиционной привлекательности редкометалльных объектов. //Разведка и охрана недр. 2004. № 11. С. 37-43.
25. Левченко Е.Н. Влияние вещественного состава на технологические свойства титан-циркониевых россыпей. //Разведка и охрана недр. 2004. № 11. С. 44-48.
26. Левченко Е.Н. Новые прогрессивные технологии добычи и переработки титан-циркониевых россыпей России. М.: ИМГРЭ, 2004. 84 с.
27. Левченко Е.Н. Особенности вещественного состава титан-циркониевых россыпей – основа прогноза их технологических свойств на ранних стадиях ГРП. М.: ИМГРЭ, 2004. 24 с.
28. Левченко Е.Н. Особенности вещественного состава титан-циркониевых россыпей, влияющие на их технологические свойства. Сб. тезисов V конгресса обогатителей стран СНГ. М: МИСиС, 2005. т. 1. С. 146-149.
29. Левченко Е.Н. Минералого-технологическая оценка титано-циркониевых россыпей с использованием особенностей их вещественного состава. Сб. тезисов XIII Международного совещания «Россыпи и месторождения кор выветривания: факты, проблемы, решения». Пермь, 2005. С. 132-134.
30. Левченко Е.Н. Критерии прогнозной оценки технологических свойств титан-циркониевых россыпей на ранних стадиях ГРП. Сб. тезисов Международной научно-практической конференции НАН Украины. Киев, 2005. С. 189-194.
31. Левченко Е.Н., Григорьева А.В. Влияние особенностей вещественного состава титан-циркониевых россыпей на их технологические свойства. Сб. тезисов Международного совещания «Современные проблемы комплексной переработки природного и техногенного минерального сырья». С-Пб, 2005. С. 156-158.
32. Патык-Кара Н.Г., Чижова И.А., Левченко Е.Н., Стехин А.И. Неоднородность минеральных ассоциаций россыпного месторождения Центральное: 3-х мерная мо-

дель. Сб. «ГИС и пространственный анализ». Канада. Торонто, 2005. т.2. С. 1083-1088.

33. Левченко Е.Н., Григорьева А.В., Башлыкова Т.В., Амосов Р.А. Исследование золотоносности титан-циркониевых песков России и возможности его попутного извлечения при переработке. Сб. Прикладная геохимия. Вып. 7. Кн. 1. Минералогия и геохимия. М.: ИМГРЭ, 2005. С. 101-116.

34. Григорьева А.В., Левченко Е.Н., Левченко М.Л. Минералого-технологические исследования на Семеновской поисково-разведочной площади. Материалы годичной сессии МО Российского геологического общества «Минералогические исследования в решении геологических проблем. М., 2005. С. 41-44.

35. Патык-Кара Н.Г., Чижова И.А., Левченко Е.Н., Стехин А.И. Неоднородность минеральных ассоциаций россыпного месторождения Центральное: 3-х мерная модель. Материалы годичной сессии МО Российского геологического общества «Минералогические исследования в решении геологических проблем. М., 2005. С. 100-104.

36. Быховский Л.З., Левченко Е.Н. Освоение циркониевых месторождений России – насущная потребность отечественной промышленности. Материалы совещания «Редкие металлы в атомной промышленности – сырьевая база и перспективы ее развития». М., 2005. CD-версия.

37. Левченко Е.Н. Особенности вещественного состава титан-циркониевых россыпей России. //Литоология и полезные ископаемые. 2006. № 2. С. 134-152,

38. Левченко Е.Н. Прогнозная оценка технологических свойств редкометалльных руд и россыпей на ранних стадиях ГРП. //Разведка и охрана недр. 2006. № 9-10. С. 42-48.

39. Патык-Кара Н.Г., Левченко Е.Н., Стехин А.И., Чижова И.А. 3-х мерная модель редкометалльных россыпей: генетическая интерпретация и технологические параметры. 12-я конференция МАГРМ. М., 2006. CD-версия.

40. Кременецкий А.А., Пруцкий Н.И., Левченко Е.Н. и др. Северо-Кавказская титан-циркониевая провинция: геолого-экономическая модель рационального недропользования. Материалы совещания «Титано-циркониевые месторождения России и перспективы их освоения». М.: ИГЕМ, 2006. С. 25-29. CD-версия.

41. Кушпаренко Ю.С., Левченко Е.Н. Специфика геолого-технологического картирования титано-циркониевых россыпных месторождений. Сб. тезисов V1 конгресса обогатителей стран СНГ. М.: МИСиС, 2007. т. 2. С.108-112.

42. Патык-Кара Н.Г., Дубинчук В.Т., Левченко Е.Н. и др. Типоморфные особенности глауконитов верхнемеловых титано-циркониевых россыпей русской плиты. Материалы годичной сессии МО Российского геологического общества «Минералогические исследования в решении геологических проблем. М., 2007. С.253-257.

43. Быховский Л.З., Тигунов Л.П., Калиш Е.А., Левченко Е.Н. Опыт экспертизы ТЭО разведочных кондиций и материалов подсчета запасов титаноциркониевых россыпей в ГКЗ России. Сб. тезисов 1V Международной научно-практической конференции «Комплексное изучение и освоение природных и техногенных россыпей». Симферополь-Судак, 2007. С.12-15.

44. Левченко Е.Н., Максимюк И.Е., Шадрин А.Н., Кузнецова Н.А. Определение формы нахождения попутных ценных компонентов в рудах месторождений различных генетических типов Полярного Урала. Материалы годичного собрания РМО «Минералогические исследования и минерально-сырьевые ресурсы России. М., 2007. С.54-57.

45. Тигунов Л.П., Быховский Л.З., Калиш Е.А., Левченко Е.Н. Высокие технологии – прогрессивный процесс в добыче и обогащении полезных ископаемых. Сб. материалов VI Международной конференции "Ресурсовоспроизводящие, малоотходные природоохранные технологии освоения недр". М.: РУДН, 2007. С. 357-359.
46. Тигунов Л.П., Быховский Л.З., Калиш Е.А., Левченко Е.Н. и др. Влияние способов геотехнологии на инвестиционную привлекательность месторождений твердых полезных ископаемых. Сб. материалов республиканской научно-практической конференции «Геотехнология: инновационные методы недропользования в XXI веке». Навои, 2007. С. 227-230.
47. Левченко Е.Н. Прогнозирование технологических свойств титано-циркониевых россыпей России. – М.: ИМГРЭ, 2007. 199 с.
48. Быховский Л.З., Тигунов Л.П., Левченко Е.Н. и др. Цирконий и гафний России: современное состояние, перспективы освоения и развития минерально-сырьевой базы /Минеральное сырье. Серия геолого-экономическая, № 23. М.: ВИМС, 2007. 127 с.
49. Патык-Кара Н.Г., Левченко Е.Н., Стехин А.И. и др. Минеральные ассоциации месторождения титано-циркониевых песков «Центральное»: 3-х-мерная модель изменчивости. //Геология рудных месторождений. 2008. Т.50. №3. С. 246-270.
50. Калиш Е.А., Левченко Е.Н., Веремеева Л.И. Влияние горно-геологических и технологических факторов на результирующие показатели геолого-экономической оценки россыпных титан-циркониевых месторождений. Сб. тезисов Международной научно-практической конференции «Коренные и россыпные месторождения алмазов и важнейших металлов». Симферополь-Судак, 2008. С. 124-126.
51. Веремеева Л.И., Калиш Е.А., Левченко Е.Н. Решение проблемы импортозависимости России по титану и цирконю на основе геолого-экономического моделирования. Сб. тезисов Международной научно-практической конференции «Коренные и россыпные месторождения алмазов и важнейших металлов». Симферополь-Судак, 2008. С. 105-107.
52. Левченко Е.Н. Минералого-технологические исследования титано-циркониевых песков «Салехардской площади». Сб. тезисов Международного совещания «Современные проблемы обогащения и глубокой переработки минерального сырья. Владивосток, 2008. Ч.1. С.75-78.
53. Быховский Л.З., Тигунов Л.П., Калиш Е.А., Левченко Е.Н. Опыт экспертизы ТЭО разведочных кондиций и материалов подсчета запасов титаноциркониевых россыпей в ГКЗ России. Труды 1V Международной научно-практической конференции «Комплексное изучение и освоение природных и техногенных россыпей». Симферополь, 2008. С.146-150.
54. Веремеева Л.И., Левченко Е.Н., Калиш Е.А. Титано-циркониевые россыпи западной части ХМАО-Югры: геологические, технологические и геолого-экономические аспекты рационального недропользования. Труды 1V Международной научно-практической конференции «Пути реализации нефтегазового и рудного потенциала ХМАО-Югры». Тюмень-Ханты-Мансийск, 2008. С.378-386.
55. Левченко Е.Н., Михеева Е.Д. Роль комплексного использования сырья в обеспечении потребностей России редкими металлами. //Горный журнал. 2009. №3. С.116-120.
56. Кременецкий А.А., Усова Т.Ю., Левченко Е.Н. Состояние, проблемы и пути развития МСБ редких металлов. //Руды и металлы. 2009. №1. С. 38-44.
57. Калиш Е.А., Левченко Е.Н. Роль горно-геологических и технологических факторов при геолого-экономической оценке россыпных титано-циркониевых месторож-

дений. Сб. тезисов XIV Международного совещания по геологии россыпей и месторождений кор выветривания (РКВ-2010) «Россыпи и месторождения кор выветривания: современные проблемы исследования и освоения». Новосибирск: изд-во ООО "Апельсин", 2010. С.300-302.

58. Левченко Е.Н., Ваганов И.Н., Калиш Е.А. Прогрессивные технологии добычи и обогащения редкометалльных россыпей и их влияние на геолого-экономическую оценку. Сб. тезисов Международного совещания «Научные основы и современные процессы комплексной переработки труднообогатимого минерального сырья» («Плаксинские чтения–2010 г.»). Казань, 2010. С. 315-319.

59. Кушпаренко Ю.С., Левченко Е.Н. Прогнозная технологическая оценка титано-циркониевых россыпей на ранних стадиях ГРП. Методические рекомендации НСОМТИ № 100. М.: ВИМС, 2010. 35 с.

60. Левченко Е.Н. Повышение инвестиционной привлекательности редкометалльных объектов за счет инновационных технологий переработки минерального сырья. Сб. тезисов всероссийской научно-практической конференции «Редкие металлы: минерально-сырьевая база, освоение, производство, потребление». М., 2011. С. 88-89.

61. Калиш Е.А., Левченко Е.Н. Влияние горно-геологических и технологических факторов на показатели геолого-экономической оценки россыпных титано-циркониевых месторождений. Сб. тезисов всероссийской научно-практической конференции «Редкие металлы: минерально-сырьевая база, освоение, производство, потребление». М., 2010. С. 68-69.

62. Ваганов И.Н., Левченко Е.Н., Фунтиков Б.В. Возможности ФГУП «ИМГРЭ» и Бронницкой геолого-геохимической экспедиции в области технологической минералогии и методов обогащения минерального сырья. Материалы Российского семинара по технологической минералогии. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2011. С. 213-215.

63. Левченко Е.Н., Тигунов Л.П. Глаукоцит России: состояние, перспективы освоения и развития минерально-сырьевой базы. Минеральное сырье. Серия геолого-экономическая, № 32. М.: ВИМС, 2011. 65 с.

64. Левченко Е.Н. Геолого-технологическое картирование титан-циркониевых россыпей (на примере Восточного участка Центрального месторождения). – М.: ИМГРЭ, 2011. 145 с.

65. Patyk-Kara N., Chizhova I., Levchenko E., Stekhin A. Heterogeneity and Unconformity of Mineral Assemblages of Tsentral'noe TiZr Placer Deposit: 3D-Model // Proceedings of IAGM'2004 GIS and Spatial Analysis. Toronto, 2005. V. 2. – Pp. 1051-1059.

66. Patyk-Kara N., Chizhova I., Levchenko E., Stekhin A. 3-D Model of Polimineral space of heavy mineral placers: genetic interpretation and technological parameters. // Ext. Abs. 12th Quadrennial IAGOD Symposium 2006 «Understanding the genesis of ore deposits to meet the demands of the 21st century». Moscow. 2006. CD-version.

67. Levchenko E. Specific features of the mineral composition of titanium-zirconium placers in Russia. Lithology and Mineral Resources. MAIK Nauka/interperiodica distributed exclusively by Springer Science+Business Media. 2006. № 2. P. 117-136.

68. Levchenko E. Patyk-Kara N., Levchenko M. Glauconite deposits of Russia: Perspectives of development. Abstract for the 33rd International Geological Congress, Oslo, Norway, 2008. CD-version.

69. Veremeeva L., Levchenko E., Kalish E. Geological and economic modelling of replacing import and of exporting rare-metal resources. Abstract for the 33rd International Geological Congress, Oslo, Norway, 2008. CD-version.