

На правах рукописи

Кропанин Сергей Сергеевич

**МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
ЦИРКОН-ИЛЬМЕНитОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ТОМЬ-ЯЙСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ**

Специальность 04.00.11 –

Геология, поиски и разведка рудных и нерудных месторождений; металлогения

Автореферат

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

Томск – 1997

Работа выполнена в Томском политехническом университете.

**Научный руководитель - кандидат геолого-минералогических наук,
доцент Л.П. Рихванов;**

**Официальные оппоненты - доктор геолого-минералогических наук,
профессор А.Г. Бакиров;
кандидат геолого-минералогических наук,
доцент А.Д. Строителев**

Ведущая организация - ГГП «Березовгеология», г. Новосибирск

**Защита состоится 21 января 1998 г. В 14 часов
в аудитории 111 «1» корпуса
на заседании диссертационного Совета Д 063.80.08
в Томском политехническом университете
по адресу: 634004, Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30.**

Автореферат разослан 19 декабря 1997 г.

**Ученый секретарь
диссертационного совета**

П.С. Чубик

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы В Российской Федерации сложилась критическая ситуация с обеспечением предприятий государства титановыми и цирконовыми концентратами. Так как, с распадом Советского Союза их производство, практически, оказалось вне России, а потребности в цирконовых концентратах оцениваются (по аналогии с экономически развитыми странами) в 100-150 тыс. т. Потребности в титановом минеральном сырье в 600-675 тыс. т.

Основным промышленным типом месторождений циркония и титана являются комплексные циркон-ильменитовые россыпи, где сосредоточено 92 % и 52 % мировых запасов для каждого компонента соответственно. Разработка данного типа месторождений играет значительную роль в экономике различных государств и прежде всего Австралии, ЮАР, Индии, Бразилии. В настоящее время погребенные прибрежно-морские россыпи циркона и ильменита выявлены в различных регионах России. Детально разведано три россыпных месторождения, но только одно из них, Туганское (Томская область), подготовлено к эксплуатации, два других - Центральное (Тамбовская область) и Тулунское (Иркутская область) - в настоящее время нуждаются в переоценке. Предварительно разведаны или оценены на поисковой стадии 7 комплексных циркон-ильменитовых россыпных месторождений: Георгиевское, Тарское, Ордынское, Николаевское (Западная Сибирь), Лукояновское (Нижегородская область), Кирсановское (Тамбовская область), Башпагирское (Ставропольский край). При вовлечении перечисленных объектов в эксплуатацию необходимо их рассматривать не только как источник ильменитовых и цирконовых концентратов, а как комплексные месторождения кварца, каолина, титана, циркония, редких и редкоземельных элементов.

Для переоценке перечисленных объектов, и Томь-Яйского междуречья, в частности, требуется совершенствования минералого-геохимических методов исследования.

Цель работы. Изучение минералого-геохимических особенностей циркон-ильменитовых месторождений Томь-Яйского междуречья, выработка минералого-геохимических критериев при геолого-экономической оценке циркон-ильменитовых россыпей, установление возможности их комплексного использования.

Основные задачи.

- 1) изучение минералого-геохимических особенностей продуктивных отложений различных циркон-ильменитовых россыпных месторождений;
- 2) изучение поведения элементов в процессе лейкоксенизации ильменита;

- 3) выработка геохимических критериев для минералого-технологического картирования основных минералов тяжелой фракции;
- 4) установление возможных источников питания россыпей и механизмов накопления продуктивных пластов по кристалло-морфологическим признакам и геохимическим данным циркона;
- 5) оценка возможности комплексной переработки циркон-ильменитовых месторождений Томь-Яйского междуречья.

Фактический материал. Автор с 1988 года занимается минералого-геохимическим исследованием различных циркон-ильменитовых месторождений России, Казахстана и Украины. С 1988 г по 1991 г были проведены исследования по изучению уровней накопления и распределению рассеянных элементов в концентратах и минералах Туганского месторождения. С 1991 г по 1993 г проводились минералого-геохимические исследования продуктивных отложений Георгиевского месторождения с разработкой технологической схемы обогащения и переработки руд (патент № 5019965/02/000643). С 1993 г по 1994 г в ходе выполнения хоздоговорной работы были проведены минералогические исследования концентратов Тарского месторождения с определением содержания редких и редкоземельных элементов в основных рудных минералах и промышленных концентратах. В это же время были проведены минералого-геохимические исследования руд Обуховского (Казахстан) и Малышевского (Украина) месторождений с посещением единственного действующего добывающего предприятия на месторождениях подобного типа в бывшем СССР -Верхнеднепровского ГОК (г.Вольногорск). В 1995 г проведен анализ мономинеральных концентратов Кара-Откельского месторождения (Казахстан). В 1997 г проведены минералогические исследования продуктивных отложений Ордынской россыпи (Новосибирская область).

Результаты работ отражены в 5 научно-производственных отчетах и 6 опубликованных статьях.

При написании диссертационной работы были использованы производственные отчеты по геологоразведочным работам на различных циркон-ильменитовых месторождениях России, Казахстана и Украины, опубликованные материалы по минералогии и геохимии россыпных месторождений титана и циркония, и результаты минералого-геохимических исследований акцессорных минералов магматических горных пород.

Научная новизна. Впервые определены уровни накопления редких и редкоземельных элементов в концентратах и минералах различных объектов данного типа и выполнены детальные минералого-геохимические исследования продуктивных пластов

погребенных циркон-ильменитовых россыпей Западно-Сибирского региона. Показана возможность использования результатов геохимических данных исходных проб и тяжелой фракции для расчета содержания циркона, ильменита, лейкоксена и монацита с построением карт их распределения. Показаны новые возможности использования морфологии кристаллов циркона и его геохимических особенностей в определении возможных источников питания россыпей и моделирования процессов отложения материала в прибрежно-шельфовой зоне. Изучено поведение элементов в процессе лейкоксенизации ильменита на месторождениях юго-восточной части Западно-Сибирской плиты.

Практическая ценность. Полученные данные о содержании редких и редкоземельных элементов в продуктивных отложениях циркон-ильменитовых россыпных месторождений позволяют утверждать, что эти объекты должны рассматриваться, не только, в качестве источника мономинеральных концентратов кварца, каолина, ильменита и циркона, а как комплексные месторождения кварцевых песков, каолина, титановых и циркониевых продуктов, а также как источники редких и редкоземельных элементов. Рентабельность предприятия, которое включает в себя добычу, обогащение и первичную переработку коллективного концентрата тяжелой фракции отдельных мономинеральных концентратов, существенно выше, чем у предприятия ориентированного на получение мономинерального сырья.

Основные защищаемые положения.

1. Циркон-ильменитовые россыпи Томь-Яйского междуречья необходимо рассматривать как комплексные месторождения кварца, каолина, титана, циркония, а также редких и редкоземельных элементов.
2. В процессе лейкоксенизации ильменита происходит накопление редких и редкоземельных элементов, по характеру изменения их содержаний возможна корреляция отдельных участков и пластов россыпных месторождений.
3. Результаты геохимических данных исходных продуктивных песков и тяжелой фракции возможно использовать для определения концентраций основных минералов тяжелой фракции и их минералогического картирования.
4. Основываясь на кристалломорфологических и геохимических особенностях циркона возможно определение материнских пород, служивших источниками питания россыпных проявлений, через расчет их петрохимических характеристик.

5. По распределению определенных морфологических типов кристаллов циркона возможно геолого-структурное и фациальное моделирование условий формирования россыпи, выявление перерывов в осадконакоплении и проявленности процессов денудации ранее отложенных продуктивных пластов, установление изменений преобладающих направлений в процессе переноса и отложения материала, а также можно судить об относительной интенсивности волноприбойной деятельности.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, 9 глав и заключения. Ее общий объем - 177 страниц текста, которые иллюстрированы 49 таблицами и 77 рисунками.

Список литературы содержит 190 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В **первой главе** рассматривается история изучения вопроса, которая состоит из нескольких разделов:

- В первом разделе отражена история изучения общих вопросов геологии россыпей, от стихийного накопления разрозненных сведений о находках, прежде всего, благородных металлов и ювелирных камней, до становления теории россыпиобразования и обоснования критериев поисков и разведки россыпных месторождений различных полезных компонентов;
- Во втором разделе рассматривается, конкретно, история изучения циркон-ильменитовых россыпей от первых находок современных россыпных ильменитовых проявлений на берегу Азовского моря до обоснования поисков погребенных прибрежно-морских отложений обогащенных титановыми и циркониевыми минералами. Особое внимание уделено разведке Туганского месторождения и открытию Георгиевской россыпи;
- В третьем разделе дан перечень геологоразведочных и поисковых работ, проводимых на территории изучаемой площади, который дает представление о геологической изученности района;
- В четвертом и пятом разделах представлена последовательность минералого-геохимического изучения руд Туганского и Георгиевского месторождений;
- В шестом разделе рассматривается изученность технологических свойств руд россыпных месторождений Томь-Яйского междуречья.

Во **второй главе** изложена методика проведения минералого-геохимических исследований, которая включает в себя несколько основных блоков:

- Отбор проб и предварительная обработка кернового материала;

- Выделение тяжелой фракции с рассмотрением оптимальных вариантов использования различных методов при минералого-геохимических исследованиях в ходе разведке циркон-ильменитовых россыпей и разделение коллективного концентрата различными способами магнитной и электромагнитной сепарации;
- Диагностика минералов и выделение мономинеральных концентратов;
- Аналитические работы;
- Обработка полученной информации и сопоставительный анализ.

Отдельно рассмотрен вопрос о результатах исследований по выбору оптимальной навески проб для проведения инструментального нейтронно-активационного анализа концентратов и минералов циркон-ильменитовых россыпей, и контролю качества ИНАА.

В третьей главе рассмотрено геологическое строение северо-западной части Томь-Яйского междуречья, находящегося в области сочленения Колывань-Томской складчатой зоны с Западно-Сибирской плитой (Рис.1), в частности дается краткая характеристика пород кристаллического фундамента, состоящего, преимущественно из глинистых сланцев верхнего девона и нижнего карбона с развитой на них корой выветривания, и платформенного чехла Западно-Сибирской плиты, состоящей из меловых (киялинская, покурская, симоновская, сымская свит), палеогеновых (люлинворская, юрковская, новомихайловская свиты), неогеновых (кочковская свита) отложений, а также различных отложений четвертичного возраста (Рис.2). Рассмотрена тектоника и история геологического развития района. Основное внимание уделено геологическому строению и морфологии россыпей Туганского и Георгиевского месторождений, а также их сходству и отличию, в этом плане, между собой и с другими объектами подобного типа.

В четвертой главе дается общая характеристика продуктивных пластов циркон-ильменитовых россыпей Томь-Яйского междуречья с описанием установленных в них минералов, включая легкую фракцию, и отличительные особенности состава Туганского и Георгиевского месторождений от других объектов подобного типа.

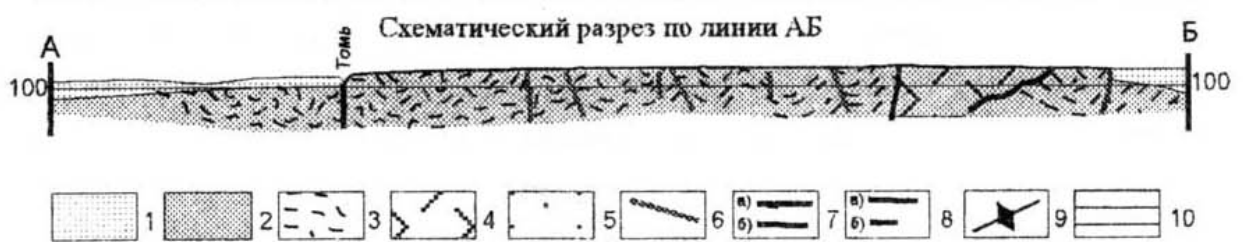
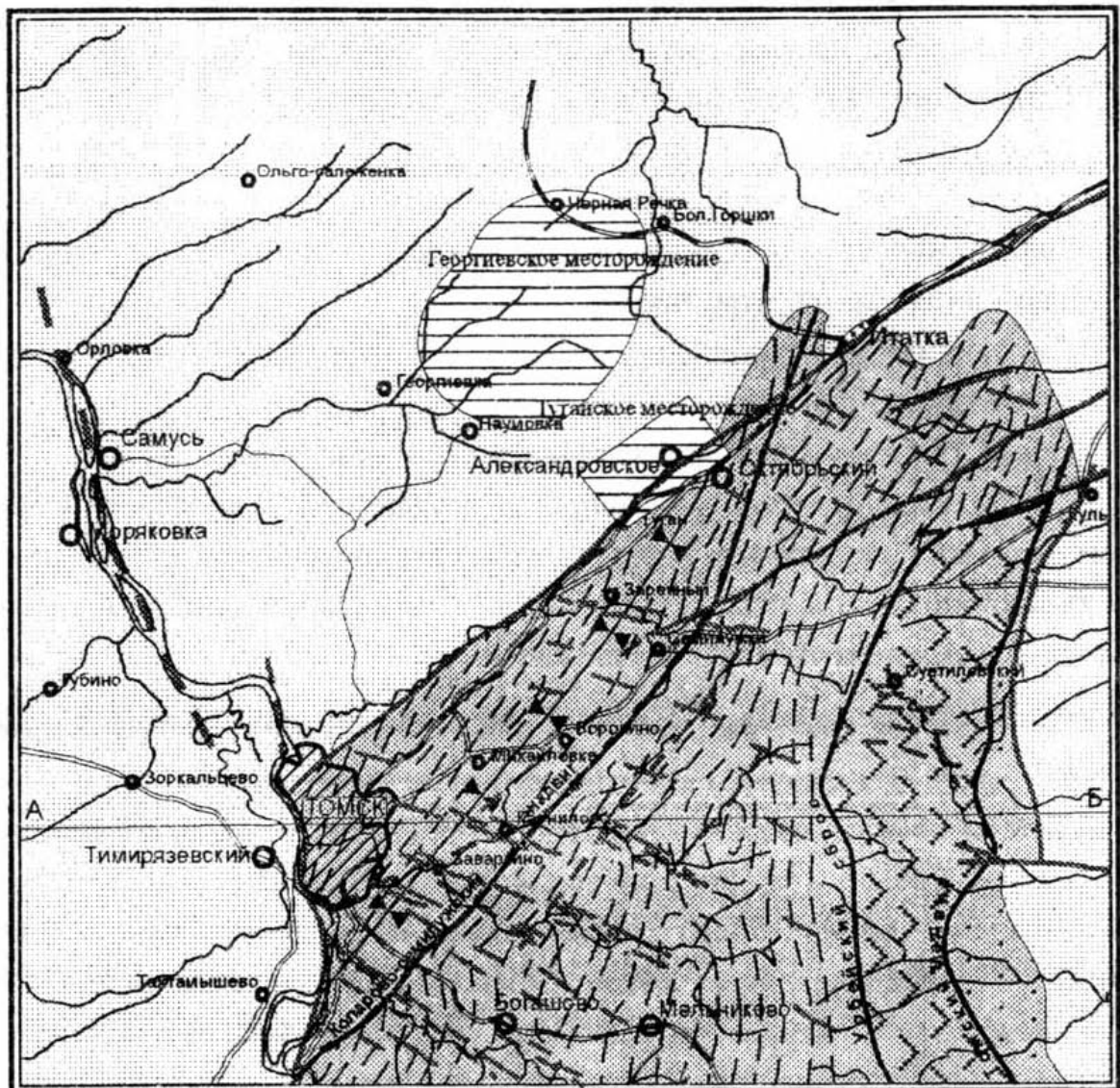


Рис.1 Тектоническая схема северо-западной части Колывань-Томской складчатой зоны (Составил Рубцов А.Ф.)

- 1-Мезозой-кайнозойские отложения платформенного чехла; 2-Томский выступ;
 3-Колывань-Томский синклиорий (поздние герцениды); 4-Омутнинский выступ (ранние герцениды); 5-Ташминская грабен-синклиналь (поздние герцениды);
 6 - Дайки "томских диабазов" (bP_2); 7 - Дизъюнктивы мезозой-кайнозойского возраста:
 а) установленные бурением, б) предполагаемые дешифрированию аэрофотоснимков и космофотоснимков; 9 - Ось Колывань-Томского синклиория;
 10 - районы циркон-ильменитовых месторождений

система		неолен	палеогеновая		меловая				каменноугольная	девонская		мощность, м	ОПИСАНИЕ ПОРОД	
			олигоцен	эоцен	верхний		нижний			верхний	нижний			
отдел	ярус	индекс	коньяк	турон	сеноман	альб	апт	барем	визейский	турнейский	франский	фаменский		
		N ₁ кс						K ₁ kl	C ₁ bs		D ₃ jur		50	Кочковская свита. Глины коричневые, галечники
		P ₃ лт											80	Новомихайловская свита. Глины серые, пески белые, кварц-каолиновые мелкозернистые, бурые угли
		P _{2,3} jur											100	Юрковская свита. Пески светло-серые, тонкозернистые; глины серые
		P ₂ л											30	Люлинворские свита. Глины зеленые
		K ₂ sms											70	Сымская свита. Пески белые, кварц-каолиновые, мелкозернистые; глины серые
					K ₂ sm								200	Симоновская свита. Пески белые, кварц-каолиновые, мелкозернистые; глины серые зеленовато-серые и пестроцветные
													150	Покурская свита. Пески серые и зеленовато-серые, тонко-среднезернистые; глины зеленые зеленовато-серые
													70	Киялинская свита. Глины пестроцветные, сидеритизированные
													1100	Басандайская свита. Песчаники, алевролиты, глинистые сланцы с <i>Lepidodendron ussovi Chache</i> , <i>Angaropteridium cordiopteroides Schm</i> , <i>Yinkgo tomliensis Chache</i>
													500	Лазерносадская свита. Глинистые сланцы с <i>Fenestela plebeja M'Coy</i> , <i>F.membranacca Phill</i> , <i>Polypora sibirica Jan.</i> , <i>Spirifer sibirica Jan.</i>
													1500	Турнейский ярус. Глинистые сланцы, песчаники, линзы известников с <i>Siringothyris cuspidata Mart.</i> , <i>Spiriferina octoplicata Sow.</i> , <i>Spirifer attenuatus Sow.</i> , <i>Productus semireticulatus Mart.</i>
													1100	Юргинская свита. Песчаники с <i>Spirifer (Cyrtospirifer) verneuilli Murch.</i> , <i>Chonetes minuta Volaf.</i> , <i>Plicatifera praelonga Sov.</i>
													1500	Пачинская свита. Филлиты, глинистые сланцы с <i>Minussina maculosa Mor.</i> , <i>Neotrematopora sibirica Sc.</i> , <i>Hemitrypa devonica Nekh.</i> , <i>Retzia lopatini Stuck.</i>

Рис.2 Стратиграфическая колонка северо-западной части Томь-Яйского междуречья (Составил А.Ф.Рубцов)

В пятой главе рассматриваются геохимические особенности продуктивных толщ Туганского и Георгиевского месторождений, которые основаны на данных результатов определения содержания основных и рассеянных элементов, установленных силикатным, спектральным, инструментальным нейтронно-активационным анализами в исходных породах, легкой песковой и глинистой фракциях, суммарном коллективном концентрате минералов тяжелой фракции и мономинеральных фракциях (ильменит, лейкоксен, рутил, анатаз, брукит, циркон, монацит, турмалин, ставролит, дистен, силлиманит).

В шестой главе показано поведение редких и редкоземельных элементов в процессе лейкоксенизации ильменита в гипергенных условиях, на примере Туганского, Георгиевского, Кара-Откельского и Тарского месторождений.

В седьмой главе показана возможность использования результатов инструментального нейтронно-активационного анализа исходных пород продуктивных песков (на примере Кантесского участка Георгиевского месторождения) и тяжелой фракции (на примере Кусково-Ширяевского участка Туганского месторождения) для установления распределения основных минералов тяжелой фракции (ильменит, лейкоксен, циркон, монацит) в пределах исследуемой площади.

В восьмой главе рассмотрена новая возможность использования морфологических признаков кристаллов циркона и его геохимического спектра для решения ряда практических и теоретических задач.

В первом разделе восьмой главы показана возможность использования внешних признаков кристаллов циркона (развитие простых форм, коэффициент удлинения) для определения возможных источников питания россыпных месторождений.

Во втором разделе рассматривается решение того же вопроса, но через геохимические особенности циркона.

В третьем разделе дается обзор возможностей решения практических задач (определение условий отложения материала и направлений его переноса), через исследование распределения цирконов с определенными морфологическими особенностями, при проведении геологоразведочных работ.

В девятой главе представлена практическая значимость минералого-геохимических исследований при геолого-экономической оценке возможности комплексного использования продуктивных отложений циркон-ильменитовых месторождений.

В первом разделе сделан краткий обзор производства титановых и циркониевых концентратов в мире;

Во втором разделе дано технолого-экономическое сопоставление различных вариантов отработки Туганского и Георгиевского месторождений;

В третьем разделе рассмотрены возможности использования полученной продукции.

ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I. Защищаемое положение

Циркон-ильменитовые россыпи Томь-Яйского междуречья необходимо рассматривать как комплексные месторождения кварца, каолина, титана, циркония, а также редких и редкоземельных элементов.

Основываясь на результатах минералого-геохимических исследований вмещающих пород, легкой песковой и глинистой фракций, тяжелой фракции и мономинеральных фракций было установлено, что продуктивные отложения циркон-ильменитовых месторождений являются концентраторами широкого спектра редких и редкоземельных элементов с уровнями накопления в коллективном концентрате минералов тяжелой фракции и отдельных мономинеральных концентратах на уровне собственных редких и редкоземельных месторождений.

Таблица 1

Среднее содержание редких, редкоземельных и радиоактивных элементов (г/т) в исходных пробах продуктивных пластов, коллективном концентрате тяжелой фракции и основных рудных минералах циркон-ильменитовых месторождений Томь-Яйского междуречья

элемент	Исходная порода	Тяжелая фракция	Ильменит	Лейкоксен	Циркон
Sc	13	106	96	121	122
La	112	1356	51	349	38
Ce	197	2740	126	739	42
Sm	15	234	11	65	32
Eu	3	26	3.8	18.7	7.5
Tb	1.8	15	11	7.4	12
Yb	12	131	16	47	397
Lu	2.3	26	5.3	8.6	120
Hf	132	1899	41	126	8490
Ta	4.9	60	54	89	-----
Th	49	618	82	168	479
U	11	176	49	102	366

В концентрате минералов тяжелой фракции на различных участках Туганского месторождения и Кантесском участке Георгиевского месторождения среднее содержание скандия составляет на уровне 100 - 120 г/т при максимальных концентрациях более 170 г/т, Hf - 0,15-0,28%, La - 0,08-0,17 %, Ce - 0,15-0,37 %, Sm - 130-325 г/т. Eu - 23-33 г/т, Yb - 90-263 г/т, Lu - 22-37 г/т. Средние содержания в концентратах и минералах Туганского и Георгиевского месторождений представлены в таблице 1. Анализ нормированных кривых содержания элементов к кларку концентраций в континентальной земной коре (по Тейлору С.Р.) в тяжелой фракции (Рис. 3) показывает, что месторождения Томь-Яйского междуречья имеют более высокие уровни накопления перечисленных элементов по сравнению с другими объектами подобного типа на территории СНГ.

В цирконе в больших количествах накапливаются гафний (до 1,2 %), скандий (90 - 135 г/т), тяжелые лантаноиды (Yb – 235-465 г/т, Lu - 44-170 г/т), в лейкоксене - тантал (65-145 г/т), скандий (105-165 г/т), все редкие земли (La - 0,02-0,07%, Ce - 0,03-0,12%, Sm - 50-120 г/т, Eu - 18-24 г/т, Yb - 40-60 г/т) и радиоактивные элементы (Th - 100-300 г/т, U - 100 г/т). Кроме того, в тяжелой фракции Туганского и Георгиевского месторождений постоянно присутствует монацит в количестве около 0,03% от исходных песков, а в нем содержится 68,9% суммы редких земель. С учетом того, что лейкоксен и монацит имеют близкие физические свойства возможно совместное их получение и отдельный концентрат, из которого, в дальнейшем, перечисленные элементы могут быть извлечены.

Основываясь на данных минералого-геохимических исследованиях была разработана новая технологическая схема обогащения и первичной переработки циркон-ильменитовых россыпных месторождений на основе гидрометаллургического передела (патент № 5019965/02/000643) с получением: кварцевого, каолинового, ильменитового, цирконового концентратов, титановых катализаторов, диоксида циркония, "Аэросила" и суммарного продукта редких и редкоземельных элементов. Экономический расчет показал не только выгодность такого предприятия, по сравнению с ориентации его на производство только мономинеральных концентратов, но и существенное повышение рентабельности данного предприятия. Так, при объемах добычи 5 млн. т ориентировочная суммарная стоимость продукции по варианту ориентированного на получение мономинеральных концентратов составляет около 35 млн. долл. США, а по варианту предусматривающий гидрометаллургический передел - более 161 млн. долл. США, при этом, по оценке сотрудников ТПУ и экспертов США (Fletcher и др.), затраты производства для нерудного сырья составят 20% от их стоимости, для рудного сырья 68%, при использовании гидрометаллургического передела - 49% от стоимости получаемой продукции.

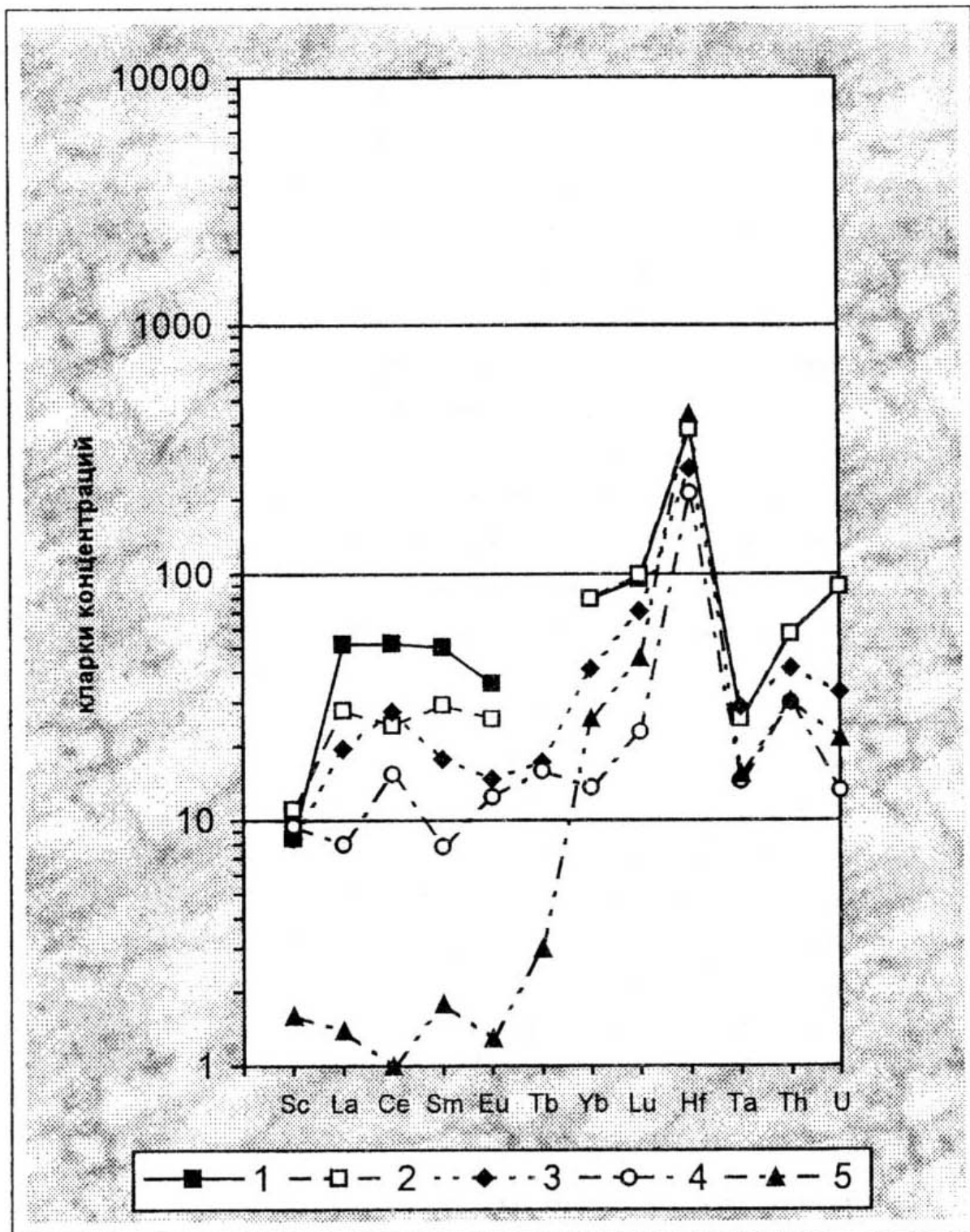


Рис. 3 Нормированные кривые содержаний элементов в тяжелой фракции различных циркон-ильменитовых месторождений
 1-Туганское, 2 - Георгиевское, 3 - Тарское, 4 - Обуховское,
 5 - Мальшевское

II. Защищаемое положение

В процессе лейкоксенизации ильменита происходит накопление редких и редкоземельных элементов, по характеру изменения их содержаний возможна корреляция отдельных участков и пластов россыпных месторождений.

Ильменит хотя и является устойчивым минералом в процессе выветривания, но при воздействии внешних факторов происходит постепенное изменение, не только его физических свойств, но и химического состава с образованием новой минеральной формы - лейкоксена.

Основной чертой изменения химического состава ильменита является изменение валентности железа с уменьшением его содержания, соответственно концентрация второго основного элемента (титана) увеличивается. Для установления поведения редких элементов в процессе перехода ильменит - лейкоксен было взято содержание железа и относительно его концентраций построены графики зависимости уровней накопления последних. Содержание всех редких, радиоактивных и редкоземельных элементов увеличиваются от 2 до 200 раз с понижением содержания железа (Рис.4). Вероятнее всего, что данный процесс наиболее интенсивно протекал на заключительной стадии в момент отложения продуктивных пластов и после их формирования. При сопоставлении характера накопления элементов в лейкоксене из различных объектов, с использованием регрессионного анализа, было установлено, что на россыпях, которые имеют близкое геологическое строение, наблюдается сходимость в степени изменения концентраций редких и редкоземельных элементов.

В целом, можно сделать вывод о том, что лейкоксен является хорошим природным сорбентом редких и редкоземельных элементов, поэтому сильно измененные разности ильменита и лейкоксен являются их концентраторами и могут служить как потенциальные источники их получения.

III. Защищаемое положение

Результаты геохимических данных исходных продуктивных песков и тяжелой фракции возможно использовать для определения концентраций основных минералов тяжелой фракции и их минералогического картирования.

Установлено, что в циркон-ильменитовых россыпях отдельные минералы являются концентраторами определенных элементов, так в ильмените содержится основная масса Fe, Ta, Cr, и лейкоксене - Ta, в цирконе - Hf, Yb, Lu, в монаците - La и Ce.

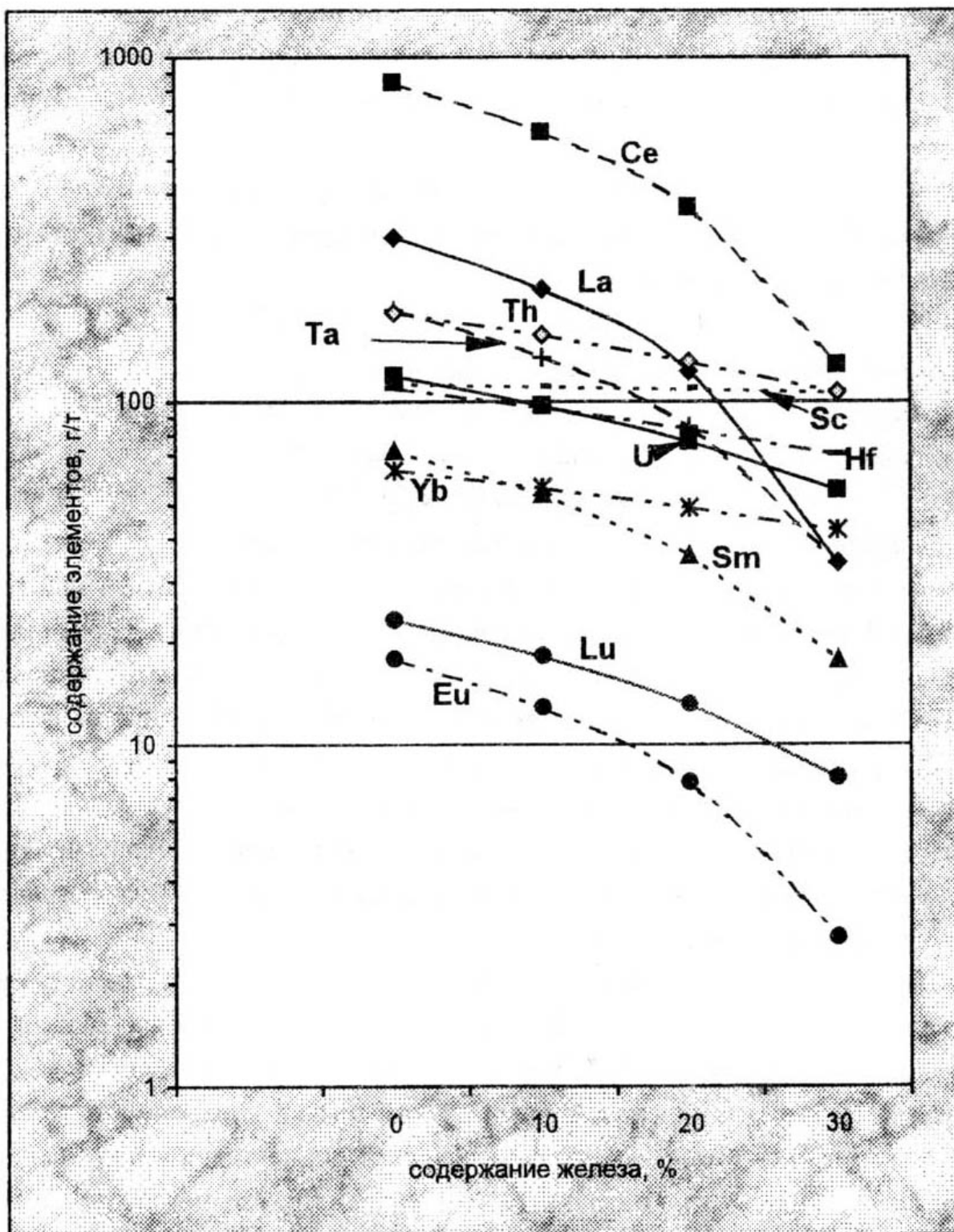


Рис.4 Графики зависимости содержания редких элементов от содержания железа (среднее по Туганскому и Георгиевскому месторождениям)

На этой основе по контрольным пробам, где был выполнен и минералогический анализ и инструментальный нейтронно-активационный анализ исходных проб продуктивного пласта (для Георгиевского месторождения) и тяжелой фракции (для Туганского месторождения) были рассчитаны формулы зависимости концентраций минералов от уровней накопления перечисленных элементов.

В пределах Георгиевского месторождения формула расчета концентрации циркона ($\text{кг}/\text{м}^3$) от уровней накопления гафния, иттербия и лютеция в исходной пробе продуктивного пласта имеет вид:

$$y_{(\text{циркона})} = (x_{(\text{Hf})} * 0,093 + x_{(\text{Yb})} * 1,091 + x_{(\text{Lu})} * 5,556 - 3,107) / 3$$

содержание всех элементов было взято в г/т.

Формула расчета суммы титановых минералов ($\text{кг}/\text{м}^3$) соответственно по уровням накопления железа, тантала и хрома имеет вид:

$$y_{(\text{ильм})} = (x_{(\text{Fe})} * x_{(\text{Cr})} * 0,036 + x_{(\text{Ta})} * 3,385 + 35,951) / 3$$

содержание железа взято в %, а остальных элементов в г. т.

По полученным данным были построены карты распределения минералов в пределах Кантесского участка Георгиевского месторождения. Для примера приводится карта распределения циркона по результатам минералогического анализа (Рис.5.а) и по данным пересчета результатов ИНАА (Рис.5.б). Коэффициент корреляции результатов составляет: для циркона - 0,96, для титановых минералов 0,92. Таким образом, минуя трудоемкие стадии отделения глинистой фракции, выделения тяжелой фракции и ее минералогического анализа, получаем достоверную информацию о содержании циркона и титановых минералов в пределах разведываемой россыпи.

В связи с тем, что основным показателем продуктивности пласта является общее содержание в нем тяжелой фракции, то возможен второй вариант расчета концентрации минералов от уровня накопления элементов, определенных методом нейтронной активации, в тяжелой фракции, что было выполнено для Кусково-Ширяевского участка Туганского месторождения. В данном случае было получено процентное соотношение ильменита, лейкоксена, циркона и монацита с последующим пересчетом на $\text{кг}/\text{м}^3$.

Формула расчета для ильменита:

$$y_{(\text{ильм})} = (x_{(\text{Fe})} * 4,261 + x_{(\text{Cr})} * 0,0046 + x_{(\text{Co})} * 1,1014 + x_{(\text{Fe}/\text{Ta})} * 284,667 + 49,283) / 4$$

Для лейкоксена:

$$y_{(\text{лейкоксена})} = (x_{(\text{Ta})} * 0,56 + x_{(\text{Ta}/\text{Fe})} * 3,936 - 22,137) / 2$$

Для циркона:

$$y_{(\text{циркона})} = (x_{(\text{Hf})} * 0,018 + x_{(\text{Yb})} * 0,225 + x_{(\text{Lu})} * 1,101 - 21,297) / 3$$

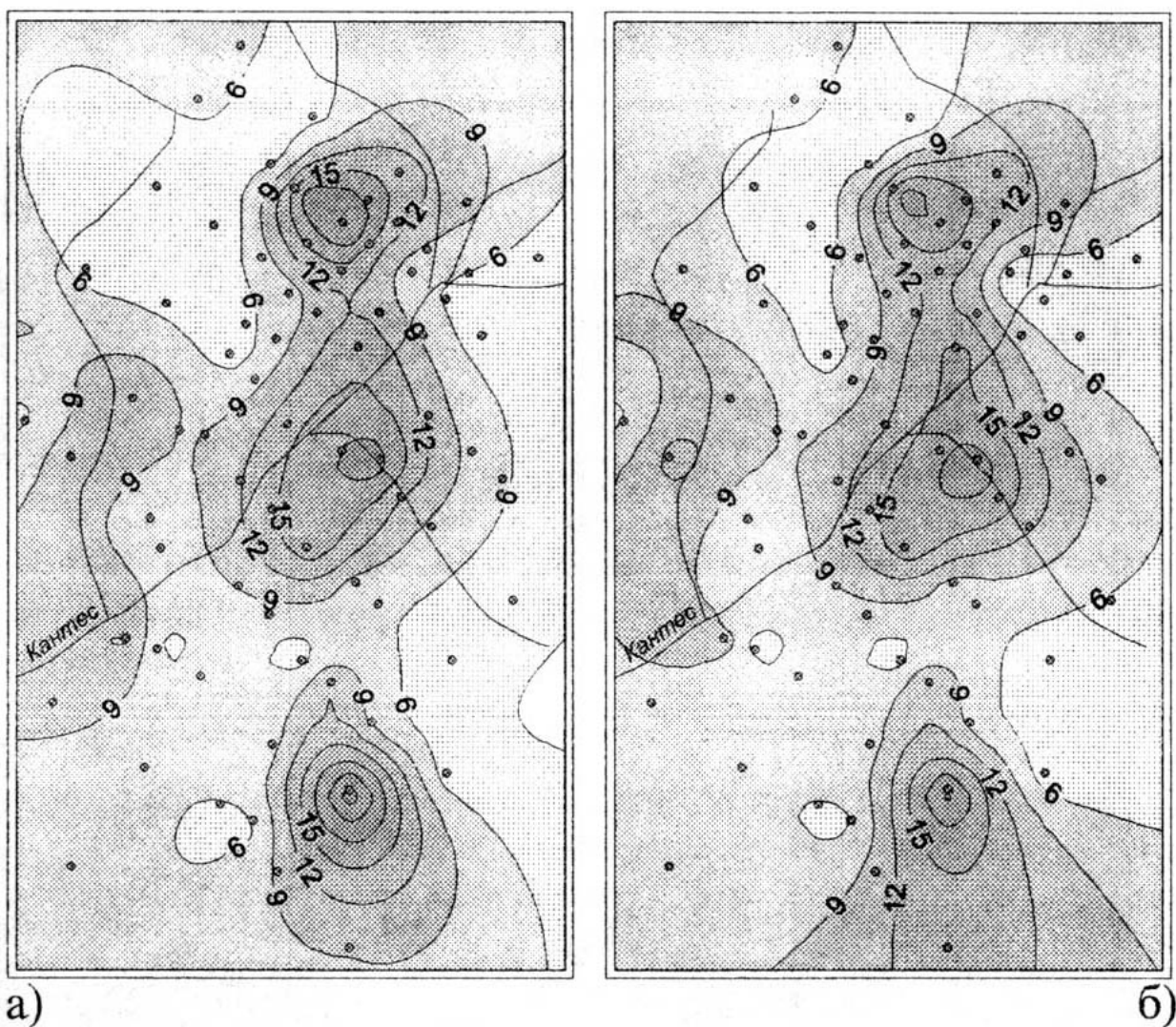


Рис.5 Распределение циркона по данным минералогического анализа (а), и по данным пересчета ИНАА (б) в пределах Кантесского участка Георгиевского месторождения

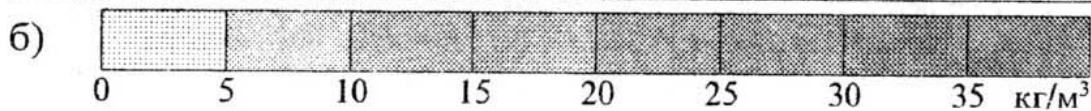
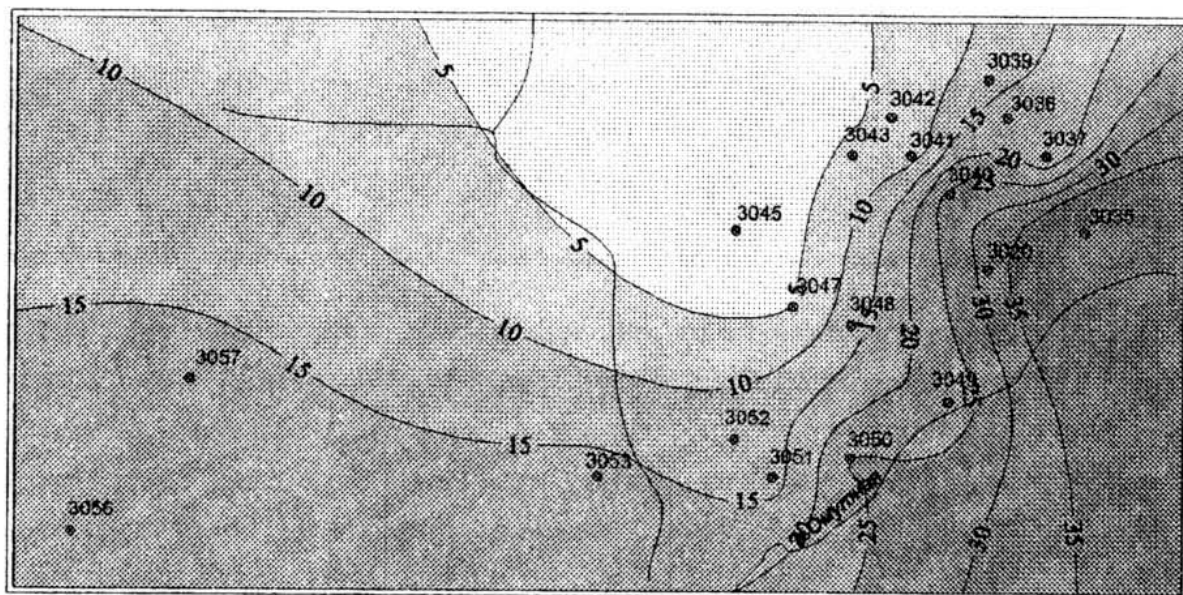
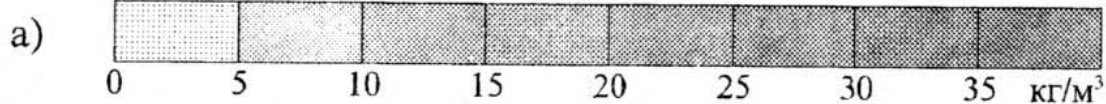
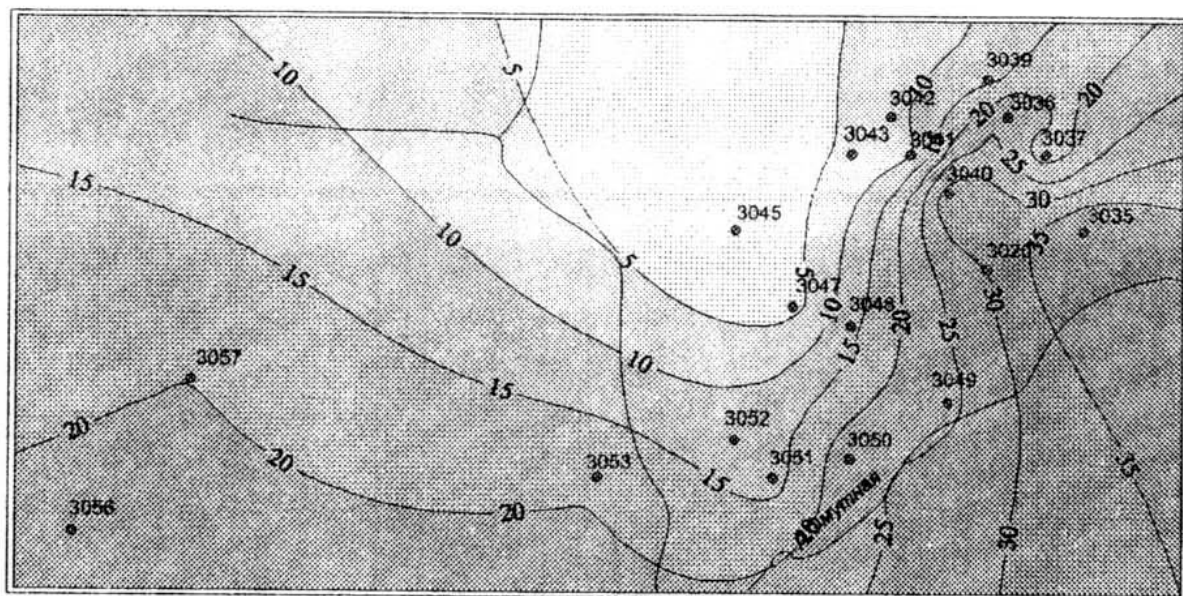


Рис.6 Распределения ильменита по данным минералогического анализа (а) и по пересчету геохимических данных (б) в пределах Кусково-Ширяевского участка Туганского месторождения

Для монацита:

$$y_{(\text{монацита})} = (x_{(Ce)} * 0,00027 + x_{(La)} * 0,00059 - 0,288955) / 3 \quad (23)$$

содержание железа взято в процентах, остальные элементы в 10^{-4} %.

По полученным данным были построены карты распределения минералов. Для примера приводится распределение ильменита по результатам минералогического анализа (Рис.6.а) и по результатам пересчета ИНАА (Рис.6.б).

Коэффициент корреляции составляет: для циркона и ильменита - 0,96, для лейкоксена - 0,84, для монацита - 0,74, но информация о распределение последнего, по геохимическим данным, возможно, более верна, чем данные минералогического анализа.

Применение данного метода возможно для контроля минералогического анализа или частичной его замены.

IV. Защищаемое положение

Основываясь на кристалломорфологических и геохимических особенностях циркона возможно определение материнских пород, служивших источниками питания россыпных проявлений, через расчет их петрохимических характеристик.

Морфологические особенности кристаллов циркона неоднократно использовалось для определения возможных источников питания россыпей. Основываясь на типологической таблице кристаллов циркона (Рис.7), разработанной французскими специалистами J.-P.Pupin, G.Turco, автором были построены графики зависимости петрохимических показателей пород a,b,c,s,f',m',n,a' от параметра "А" кристаллов акцессорных цирконов установленных в них (Рис.8). На график вынесены средневзвешенные значения параметра "А" кристаллов циркона из россыпных месторождений, но полученным данным петрохимических показателей определено, что источниками питания цирконом Туганского месторождения служили граниты нормального ряда и гранит-граносиениты, а для Георгиевского месторождения - плагиограниты, гранит-граносиениты.

Для совмещения типологической таблицы кристаллов циркона с основами генерационного анализа цирконов разработанного под редакцией В.В.Ляховича предлагается полученные средневзвешенные значения параметров "А" и "Т" разделить на коэффициент удлинения и получаем поля распределения акцессорных цирконов из различных пород (Рис.9), куда выносятся результаты исследования цирконов из россыпных месторождений.

ПРИЗМЫ

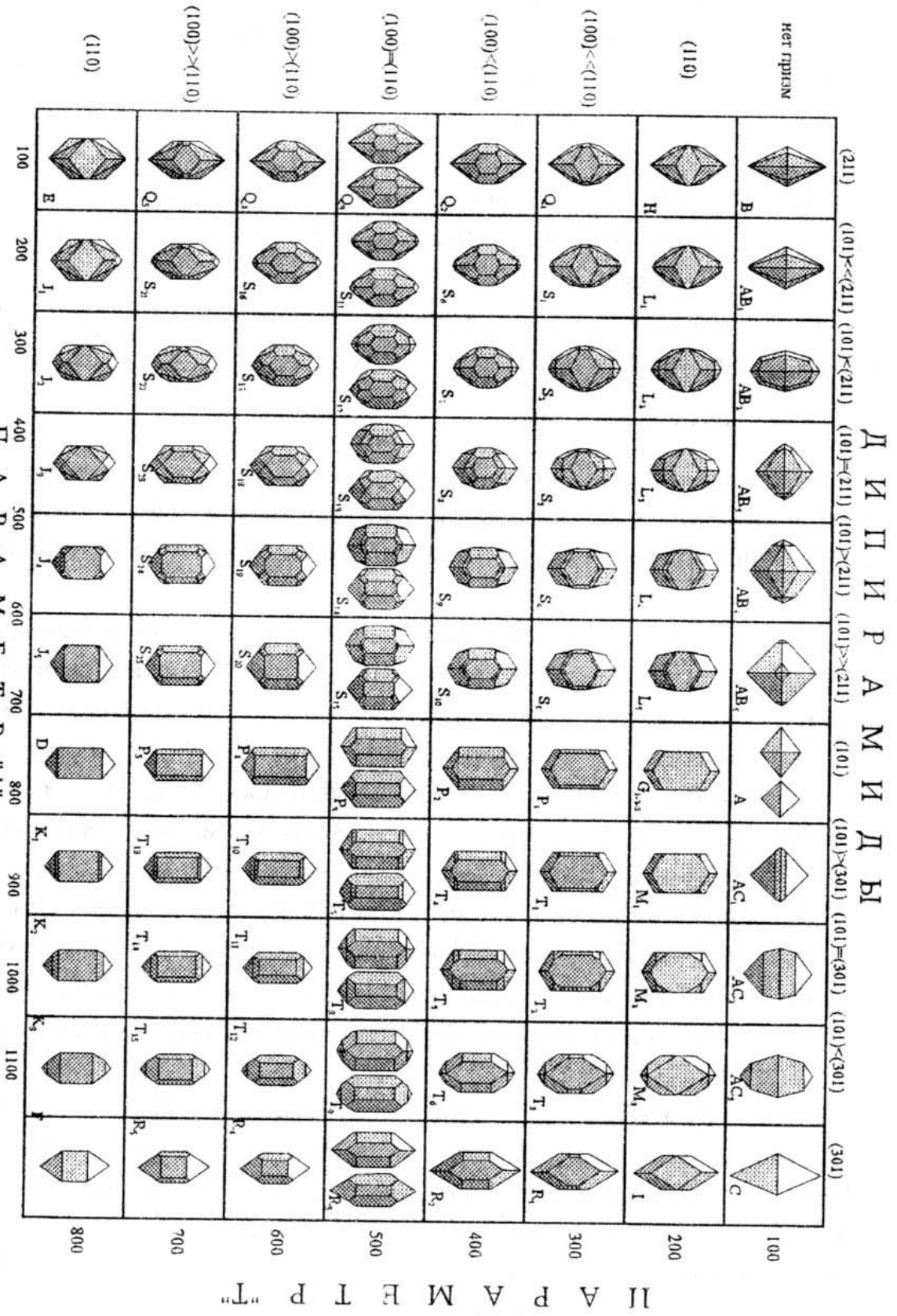
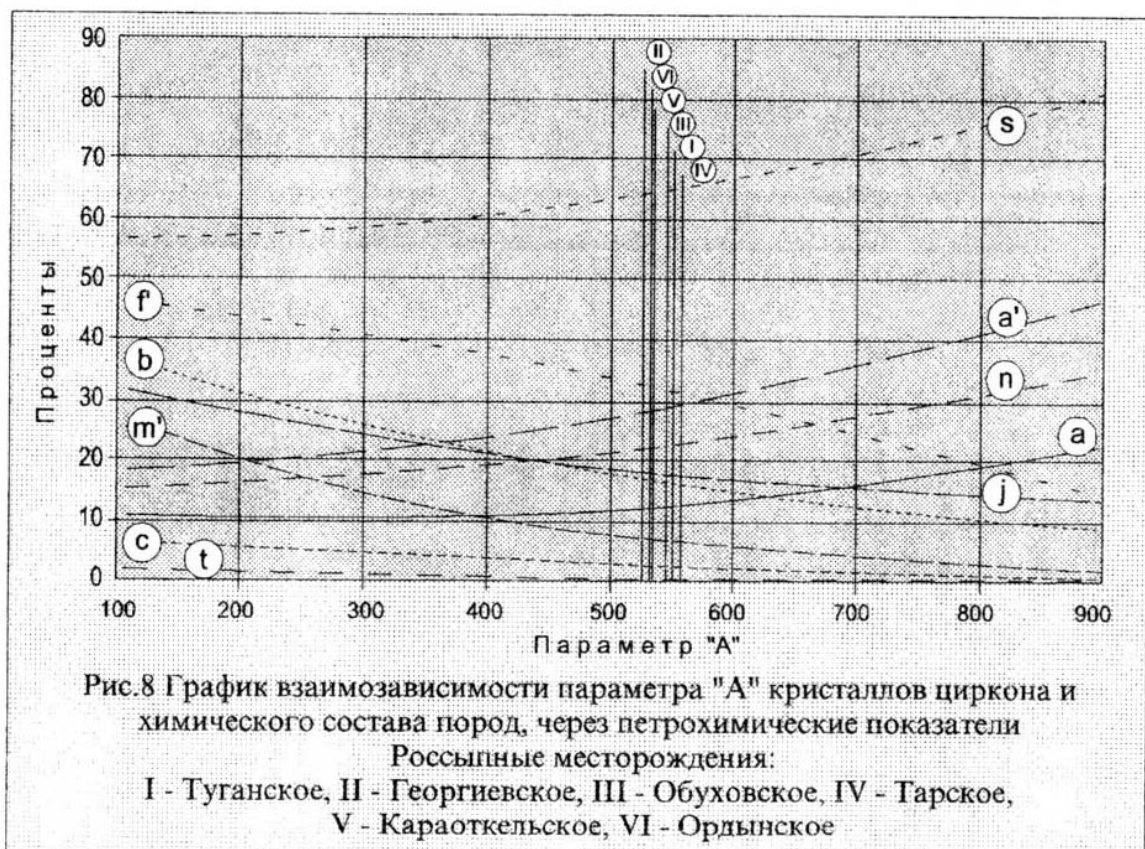


Рис. 7 Типологическая таблица кристаллов циркония (Purip, Turco)

По результатам химического анализа цирконов можно, также, произвести расчет петрохимических показателей пород, которые являлись возможными источниками питания россыпей, для этого используются отношения: ZrO_2/HfO_2 , ZrO_2/Al_2O_3 , SiO_2/Al_2O_3 , $ZrO_2/(FeO+TiO_2)$, $(SiO_2+Al_2O_3)/(FeO+TiO_2)$, $TR_{(легкие)}/TR_{(средние)}$, $TR_{(легкие)}/TR_{(тяжелые)}$, $TR_{(средние)}/TR_{(тяжелые)}$.

По результатам анализа акцессорных цирконов различных интрузивных образований были построены графики взаимозависимости петрохимических показателей пород и отношений окислов элементов в цирконе, которые представлены на рисунке 10. На графики были вынесены результаты анализа цирконов из россыпных месторождений по полученным средним значениям петрохимических показателей. С определенной долей вероятности установлено, что источниками питания цирконом Туганского месторождения являлись граниты нормального ряда и субщелочные граниты.

Коэффициент корреляции между значениями, рассчитанными по морфологическим и геохимическим особенностям цирконов, составляет 0,94.



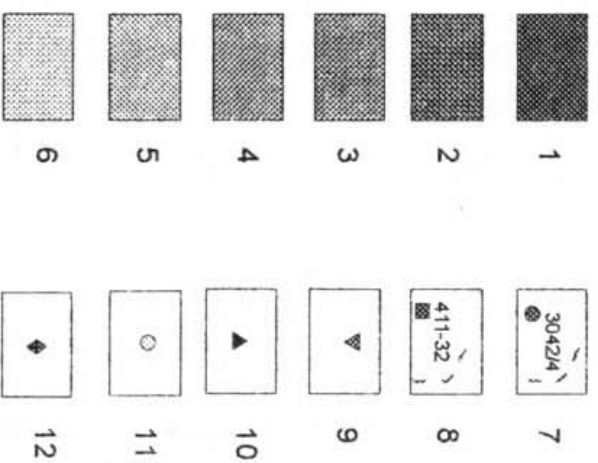
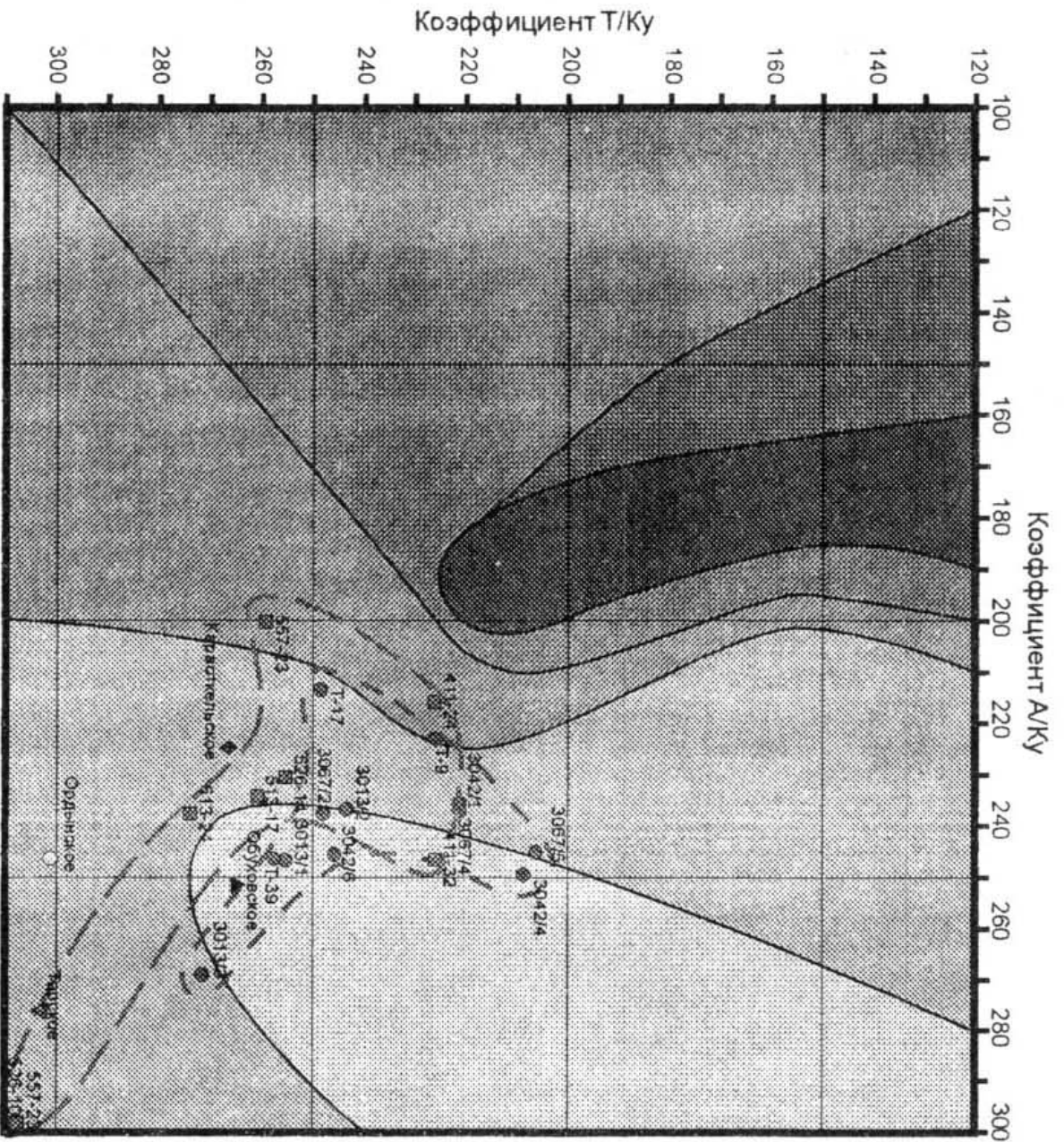


Рис.9 График распределения отношений кристаллов циркона (параметр A / Ku , параметр T / Ku) в различных породах:
 1 - ультраосновные, 2 - переходные от ультраосновных к основным,
 3 - основные, 4 - переходные от основных к кислым, 5 - кислые, 6 - щелочные;
 Россыпные месторождения:
 7 - Туланское, 8 - Георгиевское, 9 - Тарское,
 10 - Обуховское, 11-Ордынское,
 12-Караоткельское

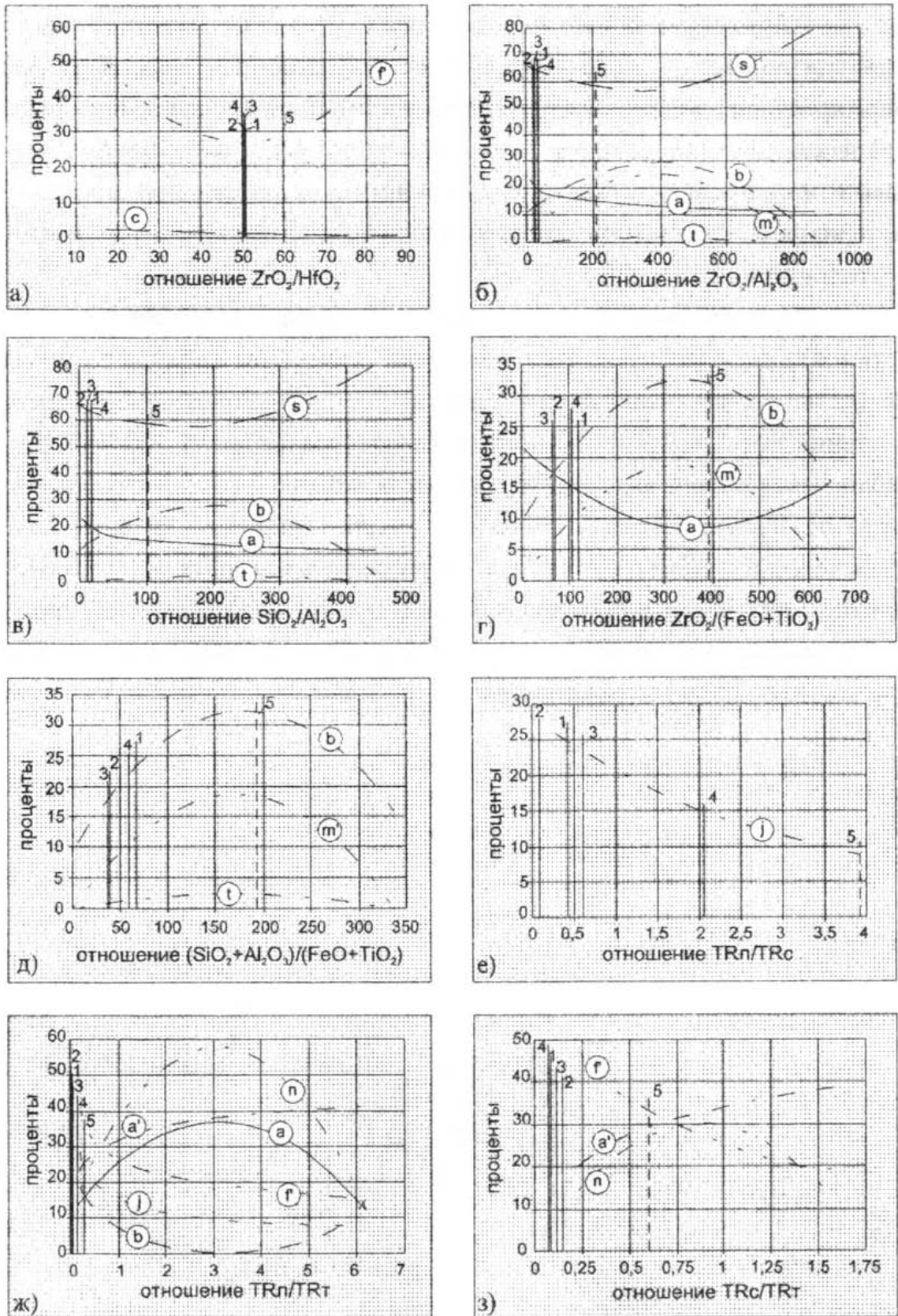


Рис.10 Взаимозависимость химического состава пород (петрохимические показатели - а, b, с, s, f, m', n, t, j, a') и химического состава циркона (отношения окислов элементов)

Участки Туганского месторождения: 1- Малиновский, 2 - Северный, 3 - Кусково-Ширяевский, 4 - Южно-Александровский, 5 - Обуховское месторождение

V. Защищаемое положение

По распределению определенных морфологических типов кристаллов циркона возможно геолого-структурное и фациальное моделирование условий формирования россыпи, выявление перерывов в осадконакоплении и проявленности процессов денудации ранее отложенных продуктивных пластов, установление изменений преобладающих направлений в процессе переноса и отложения материала, а также можно судить об относительной интенсивности волноприбойной деятельности.

При изучении кристалло-морфологических характеристик циркона было установлено, что циркон-ильменитовые россыпи содержат большое число морфотипов кристаллов данного минерала, но при рассмотрении средневзвешенных значений параметров "А" и "Т" (согласно классификации J.-P.Purin, G.Turco) наблюдается четкая закономерная их смена в плане и разрезах россыпей. В случае, когда отдельные части продуктивного пласта выходят на дневную поверхность и происходит их частичный размыв, то на более удаленных от источников питания участках происходит перемешивание вновь поступивших разновидностей циркона с ранее отложенными. При погружении площади и возобновлении осадконакопления опять наблюдается закономерная смена набора одних морфологических типов другим (Рис. 11).

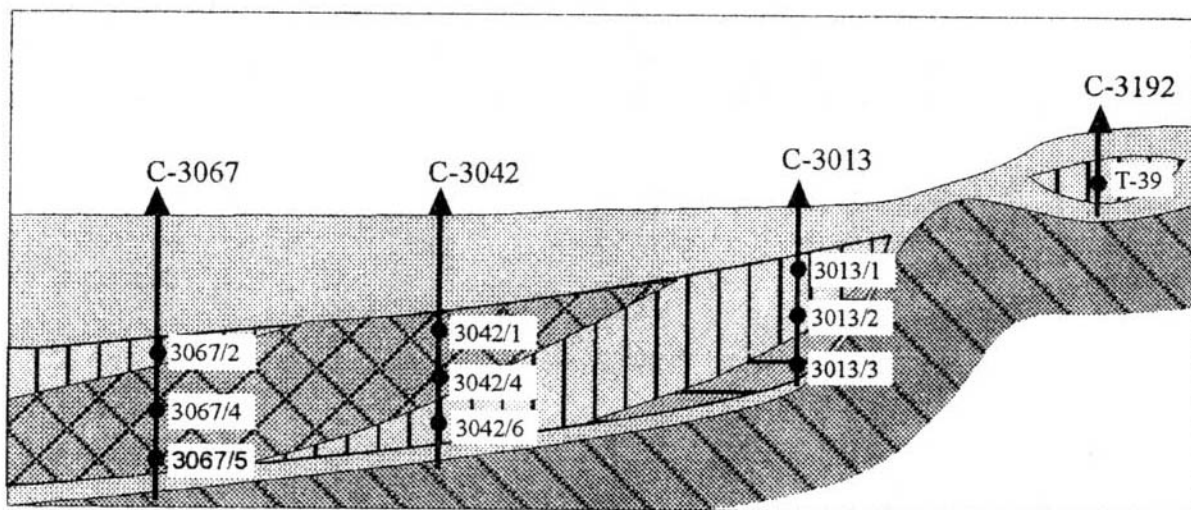


Рис.11 Распределение цирконов с различными параметрами А/Ку и Т/Ку в разрезе Туганского месторождения

При рассмотрении россыпи в целом можно установить направление (или направления) переноса материала и его отложения. В частности, в пределах Кантесского участка было установлено, что материал поступал в северо-западном, западно-юго-западном и западном направлениях, меняющихся во времени, с существенным преобладанием на последних стадиях формирования продуктивного пласта западного направления (Рис. 12). Таким образом, результаты исследования распределения различных морфологических типов кристаллов циркона возможно использовать для локального прогноза ведения геологоразведочных работ.

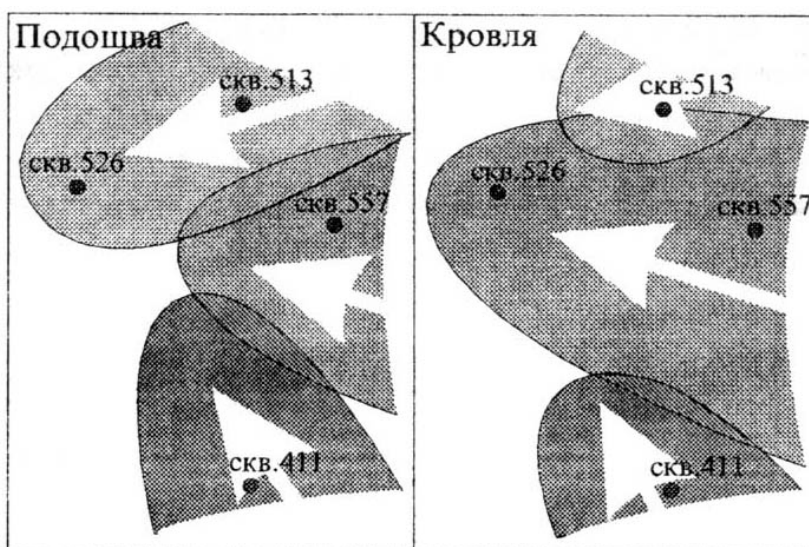


Рис.12 Изменения преобладающих направлений движение материала в пределах Кантесского участка Георгиевского месторождения

Кроме того, по результатам изучения распределения цирконов с определенным коэффициентом удлинения в плане и разрезах россыпных месторождений можно судить об относительной интенсивности волно-прибойной деятельности при отложении материала. Так, было установлено, что в пределах продуктивного пласта на Кусково-Ширяевском участке Туганского месторождения существует связь между содержанием тяжелой фракции и коэффициентом удлинения зерен циркона находящихся в ней. Чем выше содержание первой, тем меньше среднее значение отношения длины к ширине зерен. Вероятнее всего, что длиннопризматические кристаллы циркона разрушились в условиях более интенсивной волноприбойной деятельности, когда происходило накопление более "богатых" руд.

В целом, изучение морфологических особенностей цирконов дает много полезной дополнительной информации, которая может быть использована при проведении геолого-экономической оценки россыпных месторождений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Минералого-геохимические исследования циркон-ильменитовых россыпей Томь-Яйского междуречья показали необходимость корректировки взглядов на месторождения подобного типа. Современные экономические и производственные тенденции ориентированы на получение новых материалов, что не возможно без использования редких и редкоземельных элементов. Этот факт необходимо учитывать при геолого-экономической оценке циркон-ильменитовых россыпей, в ходе которой требуется не только установление содержания основных минералов тяжелой фракции, но и определение концентраций элементов, и в частности редких и редкоземельных, и формы их нахождения. Кроме того, при поисковых и геологоразведочных работах необходимо совмещение традиционных методов с новыми, позволяющими получить дополнительную информацию о составе продуктивных отложений, которая потребуется при освоение месторождений.

Список опубликованных статей и докладов

1. Рихванов Л.П., Кропанин С.С., Вертман Е.Г., Бирюков В.Т., Язиков Е.Г., Судыко А.Ф., Миков А.Д. Особенности методики анализа и геохимическая характеристика минералов россыпей Западной Сибири // Вопросы геологии Сибири. - Томск: Изд-во ТГУ, 1992. - С. 166-179.
2. Рихванов Л.П., Вертман Е.Г., Ершов В.В., Кропанин С.С., Судыко Л.Ф., Левицкий В.М., Мельников Н.В. Комплексное минералого-геохимическое исследование известных и вновь открываемых месторождений полезных ископаемых с целью выявления нетрадиционных типов редких, редкоземельных и благородных металлов // Конкурс грантов по фундаментальным исследованиям в области геологии. Рефераты лучших научных разработок. -М; 1994. -С. 23-24.
3. Кропанин С.С. Поведение радиоактивных и редкоземельных элементов в процессе лейкоксенизации ильменита // Вопросы геологии Сибири. Вып. 3. -Томск: ТГУ, 1994. - С. 169-173.
4. Кропанин С.С. Радиоактивные элементы в рудных минералах циркон-ильменитовых россыпей. // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека. Мат. Междун. конф. - Томск: Изд. ТПУ, 1996. - С. 170-172.
5. Рихванов Л.П., Кропанин С.С., Соловьев А.И., Бабенко С.А. Возможности комплексной переработки циркон-ильменитовых россыпных месторождений // Тез. докл. Междун. конф. - Алматы: 1993. - С. 134-136.
6. Кропанин С.С., Рихванов Л.П. Микроэлементный состав песков циркон-ильменитовых месторождений Западной Сибири и оптимизация технологии их комплексной

переработки. //Мат. Междун. совещ. по геологии россыпей и месторождений кор
выветривания. - М.: ИГЕМ, 1997. - С. 133.