

Казахский Национальный исследовательский технический университет

УДК [553.6(574):004.9](043)

На правах рукописи

КЕМБАЕВ МАКСАТ КЕНЖЕБЕКУЛЫ

**Формы нахождения редких земель в корях выветривания
месторождений Северного Казахстана и их 3D модели**

6D070600 - Геология и разведка месторождений полезных ископаемых

Диссертация на соискание степени
доктора философии (PhD)

Научные консультанты
доктор геолого-минералогических наук,
профессор Исаева Л.Д.

Institute of Geological Sciences P.A.S.
Prof. Dr Hab.
Ewa Slaby

Республика Казахстан
Алматы, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ОПРЕДЕЛЕНИЯ	4
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	5
ВВЕДЕНИЕ	6
1 АНАЛИЗ МИРОВЫХ ТЕНДЕНЦИЙ И СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЕВОЙ БАЗЫ РЕДКИХ ЗЕМЕЛЬ В КАЗАХСТАНЕ	10
2 МЕТОДИКА И МЕТОДЫ МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЬНЫХ ПОСТРОЕНИЙ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ	16
2.1. Методика исследования редкоземельной минерализации	16
2.1.1 Общая характеристика редкоземельной минерализации	16
2.1.2 Методика исследования редкоземельной минерализации по участкам Кундыбай, Талайрык и другим перспективным площадям	18
2.2 Методы и этапы формирования трехмерных цифровых моделей МПИ	19
3 ИЗУЧЕНИЕ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА РУД И ФОРМ НАХОЖДЕНИЯ В НИХ РЗЭ, ПОСТРОЕНИЕ 3D МОДЕЛЕЙ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГИПЕРГЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ	24
3.1 Месторождение Кундыбай	24
3.1.1 История геологического изучения Кундыбайского месторождения	24
3.1.2 Краткая геологическая и минералогическая характеристика месторождения Кундыбай	28
3.2 Вещественный состав руд на месторождении Кундыбай	34
3.2.1 Изучение минерального состава исходных пород и коры выветривания	35
3.2.2 Редкоземельные минералы коры выветривания	39
3.2.3 Минералы-концентраторы редкоземельной минерализации	44
3.3 Трехмерная модель месторождения Кундыбай	48
3.3.1 Каркасная модель литологического строения и рудных тел месторождения	48
3.3.2 Блочная модель месторождения Кундыбай	55
3.4 Участок Талайрык	63
3.4.1 Геолого-геофизическая изученность рудного района	63
3.4.2 Краткая геологическая характеристика рудного района	68
3.4.3 Минеральный состав технологической и геохимической проб из коры выветривания участка Талайрык	78
3.5 Трехмерная модель редкоземельного участка Талайрык	84
3.5.1 Каркасная модель литологического строения и рудных тел редкоземельного участка	84

3.5.2	Блочная модель участка Талайрык	88
3.5.3	Интерпретация содержаний РЗЭ по разведочным профилям	95
4	КРИТЕРИИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГИПЕРГЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ	98
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	102
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	115

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящей диссертации применяются следующие термины с соответствующими определениями:

Гипергенное происхождение - предложенный в 20-годы XX в. академиком А. Е. Ферсман термин «гипергенный» для экзогенных образований, генетически связанных процессами происходящих в сложных физико-химических изменения разрушения горных пород и минералов в наружных частях Земной коры (выветривания, транспортировка, седиментация, рекристаллизация и др.). Один из типов гипергенеза процесс выветривания и есть сформировавшихся в обстановке низких температур ($+25^{\circ}\text{C}$) и давлений (1 атм.) при активном участии воды, насыщенной атмосферными газами, прежде всего кислородом на поверхности Земли.

Черчит $\text{YPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ - самый распространенный гипергенный редкоземельный минерал

Рабдофанит $\text{CePO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ - по составу является близким аналогом черчита, для него характерно повышенное содержание иттрия

Бастнезит CeCO_3F - минерал класса фторкарбонатов, соль церия (Ce, La, Y) CO_3F . Прозрачные кристаллы жёлтого, красного и бурого цветов. Является одним из основных источников получения церия, в примесях характерно содержание лантана и иттрия, чаще всего встречается с баритом, кальцитом и флюоритом

Micromine - многофункциональная горно-геологическая система, предназначенная для визуализации и интерпретации различных геологоразведочных данных в среде 3D, построения трехмерных блочных моделей, классификации и количественной оценки ресурсов и запасов, а также для проектирования горных работ.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

РЗЭ -	редкоземельные элементы
РЗМ -	редкоземельные металлы
ДСА -	дробильно-сократительный агрегат
МПИ -	месторождения полезных ископаемых
ГИС -	геоинформационная система
IDW -	обратные взвешенные расстояния
БГД -	база данных
ДЗ -	дистанционное зондирование
АФС -	аэрофотоснимки
КС -	космические снимки

ВВЕДЕНИЕ

Общая характеристика работы

Сегодня трудно назвать область техники, в которой бы не применялись редкие и редкоземельные элементы.

К редкоземельным элементам (редким землям) относятся иттрий, лантан и 13 элементов группы лантаноидов (церий, празеодим, неодим, самарий, европий, гадолиний, тербий, диспрозий, гольмий, эрбий, тулий, иттербий, лютеций).

Эти элементы активно используются в атомной энергетике, радиоэлектронике, авиационной и ракетной технике, машино- и приборостроении. Так, неодим – основной компонент магнитов, используемых в ветротурбинах и драйверах жестких дисков. Лантан – важнейший компонент катализаторов, применяемых в нефтеперерабатывающей промышленности и фильтрах-нейтрализаторах выхлопных газов автомобилей. Иттрий, европий и тербий задействованы в производстве люминофоров для мониторов компьютеров. Ниобий находит широкое применение в выпуске ниобиевой стали. Добавка даже 0,5 % этого металла исключает внутреннюю коррозию швов нефтегазопроводов, и они служат в 4–5 раз дольше обычного. Редкие земли являются также важными стратегическими материалами, используемыми в производстве оружия точного наведения, коммуникационных систем, лазеров, радаров, спутников и приборов ночного видения.

Основным потребителем РЗЭ является Япония, занимающая более 50% мирового рынка.

В число крупных импортеров РЗЭ входят также США, Франция, Германия, Бельгия и Индия.

По данным компании Eurasia Capital спрос на РЗЭ, который в 2009 г. составлял 134 тыс. т, уже в 2012 г. вырос до 180 тыс. т, а 2014 году 200 тыс. т. Прогнозируется также и дальнейший устойчивый рост потребления РЗЭ в последующие годы.

В настоящее время крупнейшим мировым экспортером РЗЭ является Китай. Далее следует США и страны Юго-Восточной Азии.

Казахстан же, обладающий в настоящее время серьезными наработками в области производства редких металлов и редкоземельной продукции, а также рядом редкоземельных месторождений, имеет шанс присоединиться к группе стран-экспортеров сырья для производства РЗЭ, если сможет повысить инвестиционную привлекательность своих месторождений, т.е. средние содержания РЗЭ и их запасы.

Объектом исследования являются месторождение редкоземельных элементов Кундыбай и участок Талайрык.

Предметом исследований являются рудоносные коры выветривания, продуктивные на иттрий и РЗЭ для установления критериев прогнозирования месторождений гипергенного происхождения в связи с возросшим спросом данного сырья на мировом рынке.

Актуальность работы определяется необходимостью подготовки минерально –сырьевой базы редких и редкоземельных элементов в Казахстане. В настоящее время заводы, выпускающие продукцию мирового значения (Иртышский химико-металлургический завод (ИХМЗ) и Актауский горно-химический комбинат), полностью работают на привозном сырье, в условиях мирового кризиса необходимо обеспечить их казахстанским сырьем.

Целью работы является установление прогнозных критериев редкоземельных месторождений с помощью их трехмерного моделирования и определения форм нахождения редкоземельных элементов в корках выветривания гипергенных редкоземельных месторождений Северного Казахстана.

Задачи исследования

1. Провести анализ литературных и монографических материалов по геологическому изучению месторождения Кундыбай и редкоземельного участка Талайрык.

2. Определить методику и методы минералогического исследования и определения редкоземельных элементов на месторождениях Северного Казахстана.

3. Применить современные методы компьютерного моделирования для создания трехмерных моделей месторождений редкоземельных элементов.

4. Выделить и научно обосновать критерии прогнозирования месторождений редкоземельных элементов.

Фактический материал и методы исследования. В работе обобщены материалы и результаты исследований, собранные автором при проведении полевых и камеральных работ в период 2012-2014 г.г.. На территории Кундыбайского месторождения и Талайрыкского редкоземельного участка, в процессе полевых работ руды документировались в естественных и искусственных обнажениях на дневной поверхности, в подземных горных выработках и скважинах. В камеральный период проводилось описание прозрачных (более 800 шт.) и полированных (более 300 шт.) шлифов и выделение мономинеральных фракций для лабораторных исследований. Аналитическое определение особенностей состава минералов, за исключением химического анализа (25 проб), проводилось непосредственно автором работы под руководством специалистов ИГН им. К.И.Сатпаева при лабораторных исследованиях были применены методы количественного (110 проб) и полуколичественного (155 проб) спектрального анализа. После обобщения и анализа материалов ранее проведенных работ геологическими производственными организациями на этих объектах. Созданы трехмерные модели месторождения Кундыбай и участка Талайрык с использованием компьютерной программы Micromine.

Научная новизна работы. В результате применения современных методов минералогических исследований и методов компьютерного моделирования:

1. Впервые получена достоверная информация об аналитически определяемых редкоземельных элементах в корах выветривания и фундаменте различных участков Кундыбайского месторождения и Талайрыкского участка, уточнены и дополнены существовавшие ранее сведения по содержаниям РЗЭ в минералах.

2. Впервые построены трехмерные модели этих объектов, включающие каркасные модели литологического строения участка и рудного тела, блочные модели с содержаниями РЗЭ. Возможности компьютерной программы позволили впервые интерпретировать и визуализировать данные о содержании РЗЭ по всем разведочным профилям и установить особенности в характере их распределения. Получены более точные значения по средним содержаниям редких земель на основе компьютерного вычисления.

3. Установлены критерии прогнозирования месторождений редкоземельных элементов гипергенного происхождения.

Основные результаты проведенных исследований могут быть представлены в виде следующих основных защищаемых положений:

Защищаемые положения

1. Источниками редкоземельных элементов гипергенного происхождения на участке Талайрык являются породы кислого состава – гнейсо-граниты, а на месторождении Кундыбай метаморфические породы - гнейсы, сланцы, амфиболиты. Породообразующие минералы (слюды, амфиболиты, плагиоклазы) в условиях химического выветривания трансформируются в глинистые минералы. При этом большая часть высвобождающихся РЗЭ, сорбируется глинистыми минералами, а меньшая часть поступает в раствор. В связи с этим глинистые минералы в коре выветривания этих месторождений являются одними из главных носителей РЗЭ.

2. На основе минералогических исследований на месторождениях гипергенного происхождения установлены: редкие земли, **входящие изоморфно** в состав реликтовых эндогенных породообразующих минералов - граната, апатита, ортита и др., **концентрируются** в собственных новообразованных гипергенных минералах черчите, иттрорабдофаните и неодимовом бастнезите, **адсорбируются** гипергенными коллоидными минералами - каолинитом, гидроокислами железа и др.

3. Трехмерные (каркасные и блочные) модели месторождения редких земель Северного Казахстана показали: корой выветривания контролируются геометрические параметры зон редкоземельной минерализации, и содержание редких земель зависит от типа коры выветривания. На месторождении Кундыбай наблюдается повышение содержания редких земель от амфиболитов к сланцам. На участке Талайрык тип коры выветривания определяется только гнейсо-гранитами, и определенной закономерности в пространственном распределении содержания редких земель не наблюдается.

4. Построенные трехмерные модели месторождения и формы локализации редкоземельных элементов в корах выветривания являются основными факторами для установления общих прогнозных критериев при

поисках месторождений редкоземельных элементов гипергенного происхождения.

Практическая значимость. Данные по содержаниям и формам нахождения редкоземельных элементов в минералах коры выветривания могут быть использованы при проведении поисковых работ на редкоземельные элементы как в пределах рудных полей Северного Казахстана, так и месторождений схожего генезиса в других регионах мира.

Апробация результатов исследования. Основные положения диссертации обсуждались на заседаниях кафедры ГСП и РМПИ института Геологии и Нефтегазового дела им.К.Турысова КазННТУ им. К.И.Сатпаева. Результаты исследований отражены в научном отчете по проекту «Возобновление оценочных работ месторождения Кондыбай (Костанайская область), изучение вещественного состава руд, отбор технологических проб» (2014г).

Публикации. По результатам выполненных научных исследований опубликованы **10** статей и докладов, в том числе **1** работа в международном научном издании, входящем в базу данных компании Scopus и имеющем ненулевой импакт-фактор и **4** статьи в научных изданиях, рекомендуемых Министерством образования и науки РК. Полученные результаты публиковались в Международных и республиканских научных конференциях: **1**-доклад опубликован в научном сборнике Международной конференции дальнего зарубежья (Болгария, 2015), **4** – опубликованы в сборниках Международных конференций.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения и содержит 111 страниц печатного текста, 14 таблиц, 41 рисунок и фотографий, а также список литературы из 93 наименований.

Благодарность. Выражаю огромную благодарность моим научным руководителям докторам геолого-минералогических наук Л.Д. Исаевой и Еве Слаби за полезные советы и консультации при подготовке диссертации к защите. Автор искренне признателен доктору геолого-минералогических наук, профессору М.Ш. Омирсерикову за его консультации и ценные советы во время работы над диссертацией, к.г.-м.н. К.Ш. Дюсембаевой за поддержку при выполнении минералогических исследований и к.г.-м.н. С.К. Асубаевой – при выполнении модельных построений. Автор выражает благодарность сотрудникам лаборатории Института геологических наук им. К.И. Сатпаева оказавшим неоценимую помощь при выполнении аналитических работ. Автор благодарен сотрудникам кафедры ГСП и РМПИ за оказанную помощь и поддержку на различных этапах выполнения диссертации.

1 АНАЛИЗ МИРОВЫХ ТЕНДЕНЦИЙ И СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ РЕДКИХ ЗЕМЕЛЬ В КАЗАХСТАНЕ

В настоящее время за рубежом освоены два вида редкоземельного сырья: бастнезитовые (США, КНР, Бразилия) и монацитовые (Австралия, Малайзия, Индия, Таиланд и др.) концентраты [1,2].

Мировой рынок редкоземельных металлов оценивается в сумму от 3 до 5 миллиардов долларов США, причем ожидается, что спрос на них к 2020 г. вырастет вдвое. Самые крупные экспортёры уже истощили свои запасы. Только Китай обеспечивал 97% мировой потребности.

В Казахстане в советское время РЗЭ производились на Прикаспийском горно-химическом комбинате попутно при добыче урана и Иртышском химико-металлургическом заводе из сырья Соликамского магниевого завода. В ноябре 2012 г. «Казатомпром» и «Сумимото Корп.» (Япония) в г. Степногорске запустили в эксплуатацию, спроектированный казахстано-японо-европейской инженерной группой, самый современный завод для производства окисей редкоземельных металлов объемом до 1500 тонн окиси в год, к 2015 году казахстанско-японский завод увеличил мощность до 6 тысяч тонн в год, а к 2017 году будет налажено производство магнитов. Исходное сырье поступает из города Актау, готовый продукт – коллективный концентрат редкоземельных металлов содержит 13 ценных редкоземельных элементов. Их экспортируют в Японию, там из них производят сотовые телефоны, стиральные машины, автомобили и прочую технику.

Анализ подготовленности месторождений редкоземельных элементов к промышленному освоению в республике показывает, что перспективными в ближайшее время являются месторождения Кундыбай, Акбулак, Верхнее Еспе, Шок-Карагай и Каратау.

Таким образом, Казахстан имеет шансы стать одним из лидеров – в качестве экспортёра редкоземельных металлов, которые крайне необходимы для современной техники и организации в будущем производства отечественных инновационных изделий – от батарей для гибридных машин до изделий космического или оборонного назначения.

Для Казахстана одним из приоритетных направлений развития в XXI веке является редкометалльная и редкоземельная отрасли цветной металлургии.

В Казахстане производство редких и редкоземельных металлов осуществляется на специализированных предприятиях, и как сопутствующая продукция – на предприятиях цветной металлургии.

За последнее время выпуск этой продукции заметно снизился, некоторые предприятия остановлены. Иртышский химико-металлургический завод ранее выпускал 45 наименований редкометалльной и редкоземельной продукции, сейчас он практически не работает. В Казахстане одной из острых проблем является обеспечение промышленности редкоземельным сырьем. Республика

является одним из крупных регионов среди стран СНГ, обладающих значительными перспективами для развития этой базы [3].

В Казахстане редкие земли отмечаются во всех типах рудных месторождений – железорудных, медных, полиметаллических, золоторудных и др.

Выделены следующие основные редкоземельные формации Казахстана:

- эпимагматическая;
- пегматитовая;
- карбонатитовая;
- скарново-грейзеновая;
- кварцевожильно-грейзеновая;
- стратиформная;
- кварцевожильная, порфировая, пропилитовая;
- коры выветривания;
- россыпи [4].

В мировой практике известно более 60 минералов, содержащих редкие земли [5,6]. Наиболее важные из них следующие:

- монацит (Ce, La....)[PO₄];
- ксенотим Y [PO₄];
- рабдофанит (Ce, Y) [PO₄] H₂O;
- бастнезит CeCO₃ F;
- паризит CeCa(CO₃)₃F₂;
- пирохлор (Na, Ca, Ce)₂Nb₂O₆(OH, F);
- микролит (Na, Ca, Ce)₂Ta₂O₆(OH, F);
- эвксенит (Y, Ce, Ca) (Nb, Ti)O₃;
- лопарит (Na, Ca, Ce) (Nb, Ti)O₃;
- браннерит (U, Ca, Y, Th)₃Ti₅O₁₆;
- гагаринит NaYCaF₆.

Из десяти выделенных формационно-генетических типов собственно-редкоземельными являются всего два – редкометалльно-редкоземельные щелочные граниты и иттриево-редкоземельные коры выветривания. Остальные рудные формации характеризуются низкими содержаниями редких земель, которые являются сопутствующими к основному оруденению – меди, свинца, цинка, фосфора, ванадия и др [7-9].

Эпимагматическая формация представлена альбитовыми щелочными сиенитами и альбитовыми щелочными гранитами. С ними связано комплексное редкоземельно-ниобий-циркониевое и тантал-ниобий-цирконий-редкоземельное оруденение. Типичным представителем альбитовых щелочных сиенитов является *месторождение Борсыксай* (Уральский пояс). Редкие земли сопутствуют Ta-Nb оруденению и содержатся в бастнезите, пирохлоре, ортите. Выделяется собственно редкоземельное (бастнезитовое) месторождение Приозерное с запасами категории С₂.

С альбититовыми щелочными гранитами генетически связано *месторождение Верхнее Эспе*. Редкоземельная минерализация состоит из

гагаринита, малакона и пирохлора. Среди редкоземельных элементов преобладают лантан, церий, гадолиний, самарий, иттербий и лютеций. Редкоземельная минерализация тесно ассоциирует с цирконий-тантал-ниобиевой.

Близкие в генетическом отношении рудопроявления известны в Заилийском Алатау (Курменты), Улутау (Пионер, Линейное, Майтюбе), Кокшетау (Лосевка, Шоккарагай) [2, р. 27-41].

Карбонатитовая формация представлена небольшими массивами ультраосновных пород – *Красномайский, Барчинский* (Кокшетау) с бедной цирконий-редкоземельной минерализацией.

Скарново-грейзеновая формация представлена месторождением *Новосветловское* (Кокшетау) и комплексным редкометалльным месторождением *Карагайлыактас* (Заилийский Алатау). Редкие земли являются сопутствующими и встречаются совместно с танталом и ниобием, содержание редких земель ($\sum TR$) не превышает сотых долей процента.

Кварцевожильно-грейзеновая (штокверковая формация) широко развита в Центральном Казахстане – *Верхнее Кайракты, Жанет, Батыстау, Южный Жаур*. Редкие земли являются сопутствующими и в виде примеси содержатся в шеелите, вольфрамите [10]. Практический интерес представляет Верхнее Кайракты, в шеелитах которого содержания редких земель достигают 0,1 % [11].

К числу объектов с сопутствующим редкоземельным оруденением относится оловянное *месторождение Сырымбет*. В процессе разведки были выявлены блоки с промышленным содержанием редких земель (0,1 %).

Стратиформная формация – к ней относятся фосфоритовые месторождения Каратау, стратифицированные горизонты ванадиевых руд с ураном, молибденом, платиной и редкими землями (Баласаускандык, Курумсак – Каратау), урановые месторождения Прикаспия (Томак, Меловое).

Ванадиевые месторождения Каратау. Баласаускандык является крупным редкоземельно-ванадиевым объектом. Содержание редких земель на 63-73,6 % состоит из элементов иттриевой группы: иттрия, тулия, гадолиния, европия и др., редкие земли находятся в прямой корреляционной связи с пятиокисью ванадия, коэффициент корреляции – 0,062.

По запасам редких земель ($\sum Ce + \sum Y$) месторождение Баласаускандык относится к крупным.

Месторождение Курумсак представляет юго-восточный фланг месторождения Баласаускандык. Среднее содержание $\sum TR$ – 0,08 %, это также крупный редкоземельный объект.

Фосфоритовые месторождения Каратау выделяются в Каратауский фосфоритоносный бассейн, который включает месторождения Кокджон, Жанатас, Коксу, Аксай и Чулактау.

Месторождение Жанатас - среднее содержание TR – 614 г/т в т. ч. Y – 300 г/т, Yb – 4,2 г/т, Ce – 110 г/т, La – 200 г/т.

Месторождение Аксай - среднее содержание TR – 938 г/т в т. ч. Y – 440 г/т, Yb – 8 г/т, Ce – 210 г/т, La – 280 г/т.

Месторождение Шолактау - среднее содержание TR – 1088 г/т в т. ч. Y – 520 г/т, Yb – 8,1 г/т, Ce – 250 г/т, La – 300 г/т.

Месторождение Кокджон- среднее содержание TR – 630 г/т в т. ч. Y – 312г/т, Yb – 5,5 г/т, Ce – 138 г/т, La – 175 г/т.

Месторождение Коксу - среднее содержание TR – 700 г/т в т. ч. Y – 376 г/т, Yb – 6,3 г/т, Ce – 166г/т, La – 152 г/т.

Учитывая уникальные запасы фосфоритов в Каратау и высокие содержания редких земель, их следует считать одним из первоочередных источников получения РЗ элементов Казахстане.

Урановое месторождение Меловое находится в 20 км от г. Актау (Актауская обл.). Включает группу месторождений – Меловое, Томакское, Тайбагар, Тасмурун. Это крупные урановые месторождения с повышенными содержаниями редких земель и скандия. Месторождение обрабатывалось на уран, сейчас оно законсервировано [3,с. 40-48].

Угольные месторождения – Юбилейное и Шубарколь

Юбилейное (в 110 км к ЮЗ от Семипалатинска) – запасы 1,6 млрд. т. По данным Т. М. Азизова в золе углей содержится 150 г/т иттрия, 18 г/т, иттербия, скандия – 500 г/т, гадолиния – 57 г/т, диспрозия – 19 г/т, церия – 164 г/т, лантана – 100 г/т. На месторождении насчитывается 37 тыс т иттрия, 4500 т иттербия, 52 тыс. т скандия, 14 тыс. т гадолиния и др. Это крупный источник редких земель, которые могут быть получены при сжигании углей на ТЭС.

Шубарколь (в 140 км к СЗ от г. Жезказган) – запасы более 1 млрд. т. Угли содержат до 100 г/т иттрия, 64 г/т скандия, 384 г/т диспрозия, 335 г/т гадолиния и др.

Таким образом, золы углей Казахстана могут быть потенциальным сырьем для получения РЗ элементов. Среди месторождений особый интерес представляет Юбилейное, в углях которого сосредоточены крупные запасы редких земель (Азизов и др., 1981)

Кварцевожильная, порфировая, пропилитовая рудные формации характеризуются низкими содержаниями редких земель, которые являются сопутствующими к основному оруденению меди, свинца, цинка и др. Практическое значение данных формаций невысокое.

Экзогенные рудные формации – к ним относятся коры выветривания и россыпи. Коры выветривания развиты в четырех регионах – восточном Зауралье (Кундыбай и Кундыбайское рудное поле), Тургае (Ак-Булак), Улытау (Кургасынское рудное поле, Маятасское рудное поле), Кокшетау (Шоккарагай, Новосветловское, Торангылык).

Месторождение Кундыбай находится в Жетыгаринском районе Кустанайской обл. Среди редкоземельных минералов выделяются остаточные (первичные) и гипергенные (вторичные). Остаточные – ксенотим, монацит. Особенностью данных минералов являются аномально высокие содержания европия – 1,3 % в монаците и 1,5 % в ксенотиме.

Основную ценность в коре выветривания представляют вторичные редкоземельные минералы бастнезит, черчит и рабдофанит. Содержание бастнезита достигает 2440 г/т. **Черчит** самый распространенный минерал на месторождении, его содержание достигает 6,162 кг/т., рабдофанит по составу является близким аналогом черчита (ΣTR_2O_3 - 47,57 %), для него характерно повышенное содержание иттрия (4,76 %).

Месторождение Кундыбай – одно из крупных редкоземельных объектов не только среди стран СНГ, но и в мире [3, с. 40-48].

Месторождение Новосветловское находится в Арык-Балыкском районе Кокшетауской области. Редкоземельное оруденение локализуется, в основном, в корях выветривания, представленных линзообразными залежами, протяженностью до первых километров и мощностью до первых десятков метров. Минералы носители иттрия и других редкоземельных элементов – черчит и рабдофанит. Средние содержания редких земель для двух вариантов подсчета запасов – 0,03 % и 0,107 % при средней мощности рудных тел 2 м и 4 м.

Месторождение Шоккарагай расположено в Аиртауском районе Кокшетауской области, в 25 км к северу от ж/д станции Володарское. Редкоземельное оруденение развито как в коренных породах, так и в корях выветривания, выделяются две рудоносные зоны – Северо-восточная I и Северо-Восточная II. Редкоземельное оруденение концентрируется в глинисто-щебенистой коре выветривания мощностью от 1-2 до 20 м. Содержание TR_2O_3 изменяется от 0,1 до 0,5 %, содержание иттрия до 0,08 %.

Месторождение Ак-Булак находится в 30 км ЮЗ г. Аркалыка, оно представлено линейными корами выветривания мощностью до 50 м, при средней глубине залегания 13 м. Среднее содержание окиси иттрия – 272 г/т, основные рудные минералы – ксенотим, черчит, бастнезит, циртолит. На месторождении подсчитаны запасы по категории C_2 и прогнозные ресурсы по P_1 . Месторождение подготовлено к освоению.

Маятасское рудное поле расположено в Карагандинской обл., в 150 км к ЮЗ от г. Аркалыка, представлено площадной корой выветривания мощностью 25-150 м, содержание редких земель не редко достигает 1 %. Основными их носителями являются минералы глинистой фракции и собственно редкоземельные минералы – главным образом черчит. По предварительным разведочным данным это средний объект, заслуживающий постановки детальных разведочных работ.

Россыпи – получили широкое распространение в Западном и в меньшей мере в Северном Казахстане. Основными полезными компонентами россыпей являются титан и цирконий, редкие земли относятся к сопутствующим компонентам. Основной редкоземельный минерал – монацит.

В Западном Казахстане выделяется девять россыпей – Шокаш, Шпаковка, Сабынколь, Прогнозная, Сингирбай, Новомихайловка, Есет, Терисбутак. Содержание редких земель изменяется от 0,06 кг/т до 2-3 кг/т.

Северный Казахстан представлен титан-цирконовыми россыпями с сопутствующими редкими землями (монацит) – Обуховская, Горьковская, Богодуховская, Тобольская и Косколь. Содержание монацита от 0,15 кг/т до 1-2 кг/т.

Восточный Казахстан – россыпи Асубулакская и Караоткель. Основные полезные компоненты – тантал и олово, редкие земли концентрируются в монаците, практического значения не имеют [3, с. 40-48].

2 МЕТОДИКА И МЕТОДЫ МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЬНЫХ ПОСТРОЕНИЙ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

2.1 Методика исследования редкоземельной минерализации

2.1.1 Общая характеристика редкоземельной минерализации

Подавляющее большинство экспертов, занимающихся проблемами минерально-сырьевой базы редких земель, указывают на значительные перспективы её расширения, увеличения производства РЗЭ, спроса на них и использования в различных областях техники. По разным оценкам ожидается ежегодное увеличение спроса на РЗЭ от 5 до 10%.

В целом в мировой редкоземельной промышленности в последние годы повышается спрос на церий, в связи с использованием их в производстве компьютерных и телевизионных экранов и особенно в областях связанных с экологией. В Казахстане оксиды цериевой группы производит предприятие "Irtysk Rare Earth Co Ltd", расположенное в Восточном Казахстане.

Лантаноиды цериевой группы являются более сильными основаниями и по этим свойствам приближаются к кальцию, иттриевой – примерно соответствуют магнию. Элементы первой группы не растворяются в насыщенных растворах сульфата калия или натрия, второй – растворяются в избытке сульфатов щелочных элементов. Элементы цериевой группы распространены гораздо шире, чем иттриевой. Содержание РЗЭ в горных породах и соотношение между разными элементами, в частности иттриевой и цериевой группами, является важной геохимической характеристикой, помогающей изучать ход естественных процессов, в первую очередь – магматической дифференциации. В магматическом процессе содержание РЗЭ увеличивается от ультраосновных и основных пород до гранитов, щелочных гранитов, сиенитов и нефелиновых сиенитов, карбонатитов. Одной из благоприятных сред концентрации РЗЭ являются коры выветривания [12].

Минералы редкоземельных элементов. Известно около 70 собственных минералов РЗЭ, относящихся к классам фосфатов, карбонатов, оксидов, фторидов, силикатов, сульфидов и боратов. Особую группу составляют вольфраматы редких земель – иттротунгсит и арсенаты – ретциан, которые встречаются очень редко и практически не изучены. Большая часть собственных минералов РЗЭ приурочена к пегматитам и гидротермалитам, а также корам выветривания. Кроме того, редкие земли входят в состав около 280 минералов как примеси. По составу РЗЭ минералы разделяются на группы: цериевую (бастнезит, паризит, лопарит, монацит, кноптит, эвдиалит, Се фергюсонит и др.); гадолиниевую (самарскит и др.); иттриевую (эвксенит, ксенотим, иттриалит и др.); иттрий-иттербиевую (фергюсонит и др.), комплексную (ортит, пироклор, гадолинит, апатит, сфен и др.). Лёгкие лантаноиды часто накапливаются в полевых шпатах, а тяжёлые – в темноцветных минералах.

Основными минералами являются: бастнезит, монацит, ксенотим, паризит, черчит, рабдофанит, эвксенит, лопарит, бритолит и др. Основной скандиевый минерал – тортвейтит. К минералам которые используются в промышленности относятся следующие собственные минералы РЗЭ: *фосфаты*: ксенотим – YPO_4 ; монацит – $CePO_4$; рабдофанит – $(Ce, Y)PO_4 \cdot H_2O$; черчит – $(Y, Ce)PO_4 \cdot 2H_2O$; *карбонаты*: бастнезит – $Ce [CO_3] \cdot F$; паризит – $Ce_2Ca (CO_3)_3 \cdot F_2$; *оксиды*: браннерит – $(U, Ca, Fe, Y, Th)_3 \cdot Ti_5O_{16}$; кнопит – $(Ca, Ce) (Ti, Fe)O_3$; лопарит – $(Na, Ce, Ca \dots) (Nb, Ti)O_3$; пирохлор – $(Na, Ca, Ce \dots)(Nb, Ti \dots)_2 O_6 (F, OH)$; приорит – $(Y, Er, Ca, Th) (Ti, Nb)_2O_6$; самарскит – $(Y, Er, Ce)_4(Nb, Ta)_6 O_{21}$; фергюсонит – $(Y, Er, Ce \dots) (Nb, Ta, Ti)O_4$; эвксенит – $(Y, Ce, Ca \dots)(Nb, Ta, Ti)_2O_6$; *фториды*: иттросинхизит – $(Ca, Y)(CO_3)F$; иттрофлюорит – $(Ca, Y) \cdot F_{2-3}$; *силикаты*: гадолинит – $(Y, Ce)_2 FeBe_2 (Si_2O_{10})$; иттриалит – $(Y, Th)_2 (Si_2O_7)$; ортит – $(Ca, Ce, Y)(AlFe)_3Si_3O_{12} (O, OH)$; эвдиалит – $(Ce, Y, Ca)_4 FeZr (Si_6O_{18}) (Cl, OH)$.

Главными минералами-концентраторами, куда могут входить РЗЭ в качестве изоморфной примеси являются: для *лантана* - монацит, ортит, флюоцерит, нордит, лопарит, галлуазит, рабдофанит, герасимковит; для *церия* - апатит, лопарит, пирохлор, циркон; для *самария* - эвдиалит, уранинит, циркелит, браннерит, шеелит, апатит, сфен; для *европия* - лимонит, апатит, циркон, эвдиалит; для *гадолиния* - эвдиалит, флюорит; для *диспрозия* - торит, циркон, галенит, уранинит; для *гольмия* - торит, циркон, галенит, уранинит; для *эрбия* - эпидот, циркон; для *тулия* - эпидот; для *иттербия* - циркон, тортвейтит, гранаты [12, 956 с.; 13].

При разрушении коренных пород в экзогенном процессе часть минералов редких земель, преимущественно оксидов и безводных фосфатов, сохраняются и могут формировать россыпи: монацит, ксенотим, лопарит, эвксенит, самарскит, фергюсонит, флоренсит, ортит). Однако большинство минералов, в первую очередь силикаты, безводные карбонаты, фториды и пр. (гадолинит, ринколит, бербанкит, гагаринит), оказываются неустойчивыми и переходят либо в водные карбонаты и фосфаты (калкинсит, тенгерит, рабдофанит, черчит, церианит), либо в редкоземельные коллоиды (вудьяврит), либо гидратируются (гидробритолит, гидрорабдофанит, гидроринколит). Наиболее характерными минеральными формами замещения первичных минералов РЗЭ являются: *рабдофанит* - замещает беловит, монацит, стенструпин, ринколит, карнасуртит, бастнезит, бритолит; *черчит* - ксенотим; *лантанит* - церит, ортит, бастнезит; *калкинсит* - бербанкит; *тенгерит* - гадолинит, гагаринит, иттриалит, гелландит; *бастнезит* - паризит, хуанхит, ортит, чевкинит, гадолинит, таленит, бритолит; *церианит* - бастнезит, бритолит; *лейкоксен* - эвксенит, лопарит, давидит, чевкинит; *вудьяврит* - ринколит.

По технологическим особенностям извлечения минерального сырья редкоземельные руды можно разделить на такие типы: 1) с минералами цериевой группы (монацит, бастнезит и др.); 2) с минералами иттриевой группы (ксенотим, поликраз и др.); 3) с минералами РЗЭ обеих групп (иттропаризит и др.); 4) с минералами, в состав которых наряду с РЗЭ входят

другие редкие элементы (лопарит и др.); 5) комплексные, в состав которых наряду с РЗЭ входят и другие полезные ископаемые (иттропаризитовая руда).

Промышленная ценность руды во многом определяется возможностью комплексного извлечения полезных компонентов [13, с. 23-30].

2.1.2 Методика исследования редкоземельной минерализации по участкам Кундыбай, Талайрык и другим перспективным площадям

Особенности поведения РЗЭ в гипергенных процессах зависят от их первоначальной минеральной формы, способности к гидролизу, комплексообразованию, изменению валентности. При вхождении в устойчивые к выветриванию минералы они образуют элювиальные россыпи, в неустойчивые – либо выносятся и рассеиваются, либо накапливаются в корях выветривания в форме примесей в каолините, гидроксидах железа, собственных гипергенных минералов – черчита, рабдофанита, иттрорабдофанита, бастнезита и др. В этом случае редкие земли могут формировать промышленно значимые скопления, даже если в коренных породах они не достигают промышленных содержаний. Поэтому в последнее время гипергенные месторождения редких земель представляют значительный интерес, особенно учитывая сравнительную простоту технологической схемы их отработки. По данным Ю. А. Балашов, накопление РЗЭ в корях выветривания происходит на протяжении ранней щелочной стадии главным образом за счёт лёгких лантаноидов, в то время как тяжёлые лантаноиды и иттрий могут частично выноситься, причём вверх по разрезу потери иттрия по сравнению с тяжёлыми лантаноидами возрастают. В позднюю кислотную стадию картина диаметрально противоположна – выносятся лантан, а средние, тяжёлые лантаноиды и иттрий накапливаются. Поскольку продукты щелочной стадии по массе преобладают, то, как правило, коры выветривания обогащены лёгкими лантаноидами. Именно преобладание лёгких лантаноидов можно наблюдать в коре выветривания месторождения Кундыбай [14].

1) Пробы, отобранные из кор выветривания обозначенных участков, после соответствующей пробоподготовки были сданы на спектральный анализ, с целью определения в них концентраций редкоземельных элементов и других элементов, сопутствующих редкоземельной минерализации. Всего проанализировано около 2000 проб на 35 элементов. Среди которых определено 15 редкоземельных элементов (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Y, Cd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu), а также такие ведущие элементы как Ti, Ta, Nb, Sn, W, Be и ряд рудных (Zn, Pb, Cu, Mo, As) и благородных элементов (Au, Ag, Pt).

2) Поскольку объектами исследования являются коры выветривания, то отобранные из них пробы в основном представлены рыхлым и сыпучим материалом. В связи с этим использовался *рентгено-структурный анализ* для определения минеральных фаз, присутствующих в пробах.

3) Для поиска и определения микровключений редкоземельных минералов, как в коренных, так и в концентратах (шлихах) использовался *рентгеноспектральный микроанализ* (микросонд марки JEOL-733, Япония).

4) Первичная редкоземельная минерализация изучалась по изготовленным в шлифовальной мастерской аншлифам и шлифам. Образцы коренных образований были отобраны из скважин. Кроме того, были изучен ряд цементированных полированных шлифов из различных фракций шлихового анализа, для контроля сходимости.

5) **Шлиховой метод** изучения минерального состава кор выветривания является наиболее важным. Для этой цели были отобраны шлиховые пробы различного веса из скважин, характеризующих в целом выделенные участки. Механическая обработка шлиховых проб осуществлялась по следующей схеме: взвешивание → просеивание → крупный класс > 2,00 мм - <0,16 мм → отмучивание → промывание на концентрационном столе СКО-05 → шлам на спектральный анализ → глинистая и промежуточная фракция на дубликат → концентрат (шлих) → высушивание. Все полученные фракции сушились при температуре 105° в муфельной печи.

Кусковые пробы из коренных пород дробились в дробильно-сократительном агрегате ДСА от 5,0 мм до 0,1 мм. Минеральный состав крупного класса > 5,0 мм изучался визуально. Полученные концентраты (шлих) взвешивались и разделялись в тяжелой жидкости (бромформ с уд. в. 2,9). Легкая и тяжелая фракции проб промывались спиртом и сушились. Тяжелая фракция подвергалась магнитной и электромагнитной сепарациям, с выделением магнитной, электромагнитной и немагнитной фракций. Все шлиховая фракции взвешивались на весах.

Минеральный состав всех фракций был изучен следующими методами: капельно-микрхимический, оптический – в иммерсионных жидкостях по микроскопом, моноспектральный анализ, микрозондовый, люминесцентный в катодных и ультрафиолетовых лучах, рентгенофазовый [14,с. 32-40;15].

2.2 Методы и этапы формирования трехмерных цифровых моделей МПИ

В современном мире в решении вопросов геологической разведки и изысканий, используются множества специальных программных средств и информационных систем. Это позволяет значительно ускорить процесс обработки и анализа геологических информации. Такие системы позволяют автоматизировать процессы интерпретации данных геологоразведки, а также использовать их для создания цифровых моделей месторождений полезных ископаемых (МПИ) и выполнения всевозможных расчетов и оценок.

При построении трехмерных моделей МПИ используются различные методы компьютерного моделирования, в зависимости от структуры и вида полезных ископаемых. Для моделирования месторождений твердых полезных ископаемых часто используется ГИС Micromine.

В Micromine реализован способ пространственного моделирования по данным опробования разведочных скважин, с возможностью уточнения параметров размещения рудных тел и залежей по данным геофизических

исследований (сейсмическая, магнитная, электромагнитная и другие), а также данным эксплуатационной разведки [16].

Процесс создания геологических цифровых моделей состоит из нескольких этапов и в зависимости от объекта моделирования (вид полезного ископаемого, структура, топология, густота разведочной сети) может несколько изменяться [17]. Общая структура процесса построения трехмерных геологических моделей состоит из следующих этапов (рисунок 1):

- разработка структуры базы данных для хранения первичной информации геологической разведки;

- Пополнение базы информацией геологического и геофизического опробования;

- статистический анализ первичных геологических данных, исправление ошибок, группировка данных, заверка базы, выявление закономерностей;

- построение скважин в пространстве модели, группировка по профилям;

- выделение и оконтуривание рудных и нерудных интервалов по стратиграфическому принципу, уточнение интервалов по значениям бортового содержания (интерпретация геологических данных);

- уточнение границ пространственного размещения пород, с учетом тектонических нарушений, а также по данным геофизических исследований (сейсмика, гравиметрия, электроразведка);

- каркасное моделирование месторождения (выделение рудных тел и пород сопутствующей вскрыши, моделирование пластов, аномалий, ловушек и пр.);

- создание пустых блочных моделей;

- геостатистический анализ данных разведки, вариография, определение законов пространственной изменчивости геологических характеристик компонентов;

- моделирование содержания компонентов математическими методами: ближайшего соседа (полигональный метод), обратных расстояний в степени (IDW), крайгинга (в модификациях) и др.;

- моделирование гидродинамических систем, расчет массопереноса, загрязненности, химического состава и др.;

- уточнение контуров распространения пород на месторождении по заданным кондициям [18,19].

Одной из основных особенностей формирования и ведения базы разведочных скважин для *месторождений рудных полезных ископаемых* является наличие механизма усреднения интервалов первичного геологического опробования. База данных содержит средства структурной фильтрации по совокупности показателей, триггеров, вычисляемых полей (математические, статистические и логические функции), статистического анализов, построения графиков. С помощью аппарата математической статистики определяют правильность ввода первичных данных, а также наличие смешанных популяций содержания, бортовое содержание полезного компонента в руде. Также этот аппарат позволяет выявить закономерности распределения содержания в выборке для оценки возможности использования

различных методов и способов интерполяции распределения значений в пространстве.

Для выполнения интерпретации геологических данных в скважинах используются стратиграфические и литологические индексы пород, а также данные опробования (химическое или физико-технологическое). Оконтуривание зон минерализации выполняется по значениям бортового содержания. В результате интерпретации создаются замкнутые контуры, которые описывают минеральные разновидности и породы. Подобным образом выполняется оконтуривание рудных тел для всех геологических профилей. После интерпретации данных они загружаются в трехмерное пространство для проверки правильности построения и увязки [20].

Следующим этапом моделирования является создание каркасных моделей. Они строятся для рудных тел, для минеральных разновидностей в контурах рудных тел и разновидностей пород вскрыши (пустых пород).

Для месторождений рудных полезных ископаемых при уточнении контуров простираения рудных тел и оценки запасов используется блочное моделирование с интерполяцией содержания компонентов. Если классический статистический анализ дает четко ограниченные популяции и закон распределения выборки близкий к нормальному или со смещением, то для моделирования различных геологических величин в пространстве модели, ограниченному каркасами используется геостатистический анализ [18,р. 85-98].

Завершающим этапом для создания моделей месторождений руд является *блочное моделирование*. Этот процесс заключается в создании пустых блочных моделей, ограниченных каркасами; интерполяция значений содержания компонентов на базе установленного закона распределения и уточнение контуров пород по заданным кондициям [21].

При моделировании распределения компонентов учитывается большое число факторов: характер изменчивости геологических характеристик, структура и морфология месторождения, густота и равномерность разведочной сети. В связи с этим используются различные методы пространственной интерполяции: полигональный, обратных расстояний в степени IDW, крайгинга (обычный, индикативный, полииндикативный) [19,р. 75-88]. После формирования блочной структуры выполняют корректировку каркасных моделей путем исключения областей с некондиционными породами.

Сформированная трехмерная модель месторождения в дальнейшем может быть использована для подсчета запасов месторождения или его участков, геолого-экономической оценки, выполнения задач календарного планирования и определения экономически целесообразных контуров отработки [22].



Рисунок 1 - Схема формирования цифровых моделей месторождений с использованием ГИС Micromine

Так как нами не проводится оценка запасов месторождений или рудных участков, то ограничимся созданием их каркасных и блочных моделей.

Составление базы данных и методика их обработки. Электронная база данных по месторождениям или рудным участкам включает в себя следующие виды и объемы информации:

- журналы координат, инклинометрии и опробования скважин в табличном виде, созданные с помощью программы MS Office Excel на основе исторических материалов;
- отсканированные и привязанные в программе Micromine растры подсчетных чертежей.

Координаты и инклинометрия скважин, из-за отсутствия каталогов координат и инклинометрии, были сняты с графических материалов (планов блокировки запасов и подсчетных разрезов). Информация по опробованию скважин была введена в базу данных из журналов опробования.

База данных по скважинам проверена на наличие следующих ошибок и исправлена в программе Micromine:

- номер скважины или борозды продублированы в файле устьев выработок;
- одна или более координата устьев отсутствует в файле координат устьев;
- значение поля ОТ или ДО отсутствует в файле интервалов опробования;
- значение ОТ больше или равно значению ДО в файле опробования;

- интервалы опробования не являются смежными в файле опробования (промежутки между интервалами опробования);
- интервалы опробования перекрываются между собой в файле опробования;
- первый интервал опробования не начинается с 0 метра в файле опробования;
- первая глубина замера не начинается с 0 метра в файле инклинометрии;
- несколько записей инклинометрии для одной и той же глубины;
- величина азимута не находится в пределах от 0 до 360 градусов в файле инклинометрии;
- угол наклона не в пределах от 0 до 90° в файле инклинометрии;
- значение азимута или угла наклона отсутствует в файле инклинометрии;
- общая глубина скважины меньше, чем глубина опробования;
- глубина замеров инклинометрии больше, чем общая глубина скважины.

3 ИЗУЧЕНИЕ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА РУД И ФОРМ НАХОЖДЕНИЯ В НИХ РЗЭ, ПОСТРОЕНИЕ 3D МОДЕЛЕЙ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГИПЕРГЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

3.1 Месторождение Кундыбай

3.1.1 История геологического изучения Кундыбайского месторождения

В административном отношении территория Кундыбайского месторождения иттрия и редких земель расположена в Костанайской области Житикаринского района (рисунок 2) и размер ее составляет 29,0 км² (рисунок 3).

Геологическая изученность. Вся территория района покрыта геологической съемкой масштаба 1: 200 000. Эта съемка проведена в 1946-51 гг. Дворцовой К. И. и др., была разработана стратиграфия района на основании находок фауны и анализа литологических толщ смежных районов. В 1953-56 гг. Литвиным П. А., проведена комплексная съемка в масштабе 1: 200 000 и были выделены допалеозойские и палеозойские отложения, приведена схема тектонического строения района [23-25].

В 1960-61 гг. в районе Шевченковского ультраосновного массива А. К. Михайловым проведены поисково-съёмочные работы масштаба 1: 25 000 и 1: 50 000, в результате было установлено пять залежей силикатных кобальт-никелевых руд на площади 3,5 км² и выявлены перспективные участки на медь, хромиты, редкие земли [26].

В 1961-63 гг. И. В. Гачкевич, И. В. Чернышевым были проведены поисково-съёмочные работы масштаба 1: 50 000, которые уточнили геологическое строение района.

В 1962-65 гг. поисково-съёмочные работами В. С. Ерохина, В. М. Трофимова, Н. Т. Швидь на листах М-41-2-В, Г и М-41-3-В было уточнено геологическое строение района и выявлено несколько перспективных участков на поиски асбеста, кобальта, вольфрама, титана и др [27,28].

Начиная с 1929 г. по 1954 г. на Кундыбайском и Шевченковском массивах проводились работы с целью выявления асбеста, кобальт-никелевых руд и хромитов (М. К. Луценко, 1937), (Конюхов, Бокалов, 1946-49 гг., И. И. Озерной, В. Ф. Романова, 1956 г.), (Г. И. Бобылев, Н. Н. Соколов, 1952-54 гг.).

В 1957-66 гг. А. И. Кругловым, Н. Т. Швидь проводились детальные поиски на Шевченковском месторождении кобальт-никелевый руд.

В 1967 г. запасы месторождения были утверждены ГКЗ СССР [29].

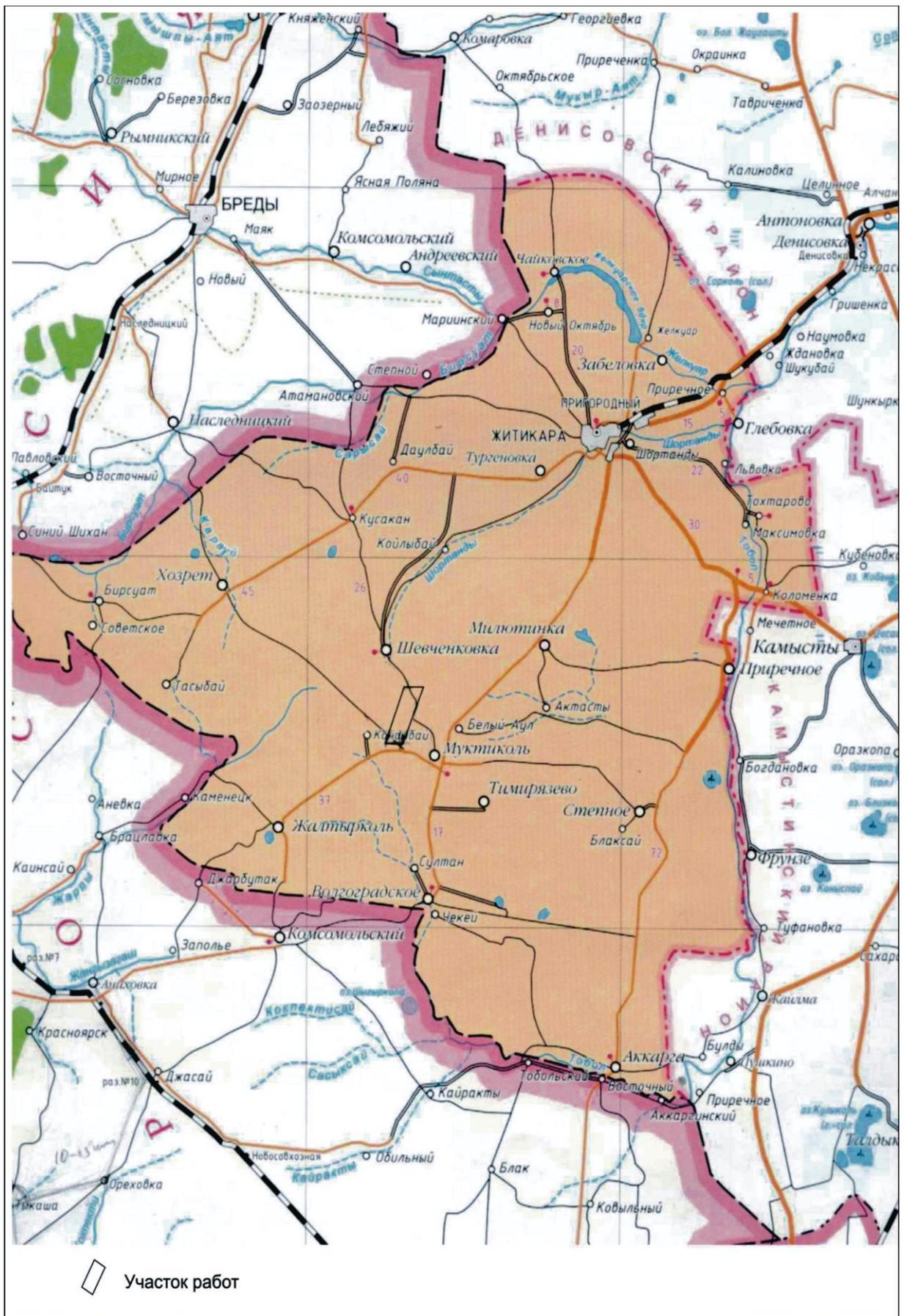


Рисунок 2 – Обзорная карта района месторождения

Картограмма размещения Геологического отвода АО «Кундыбай» на месторождение Кундыбай

Масштабы 1:200 000

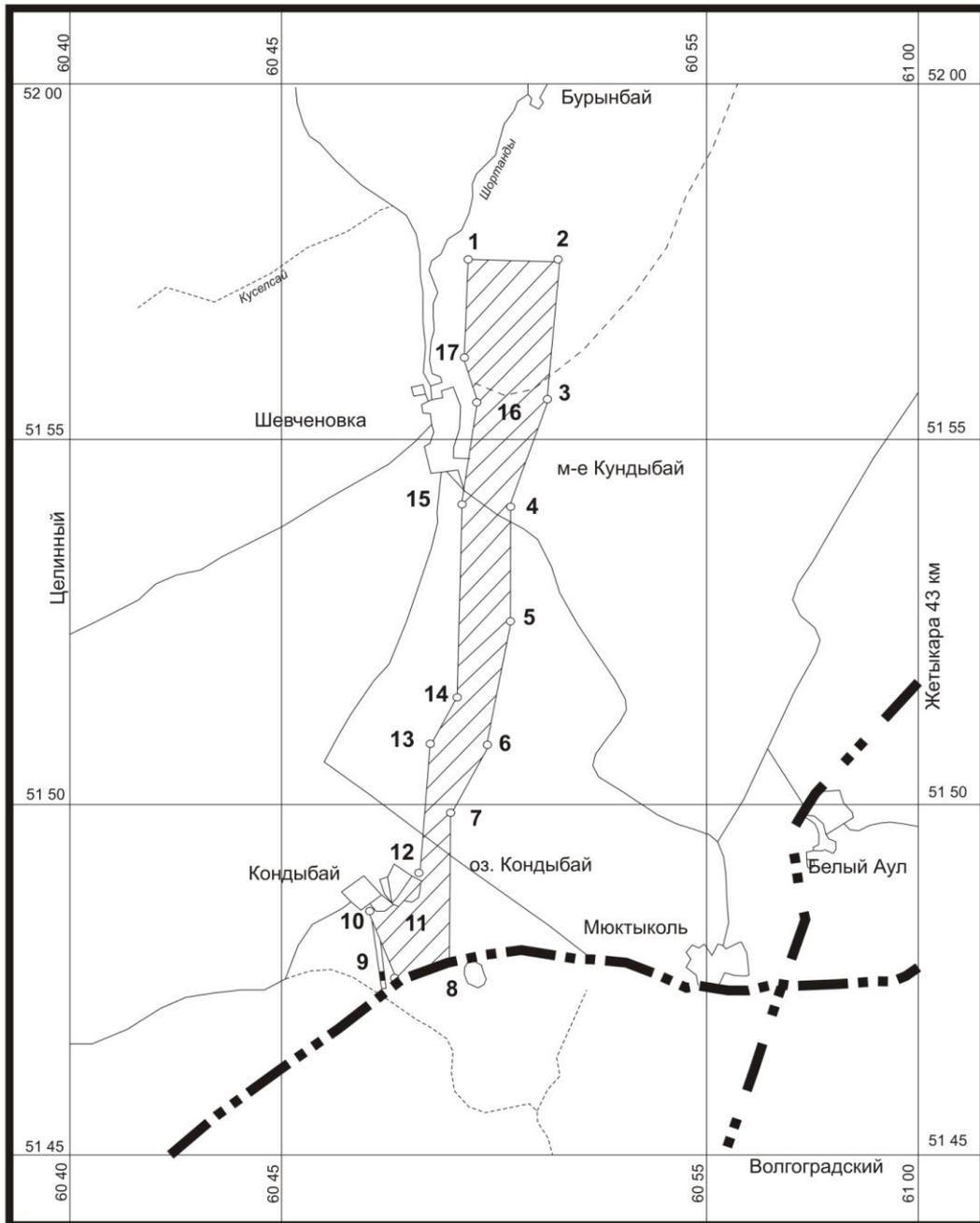


Рисунок 3 - Картограмма расположения геологического отвода
Кундыбайского месторождения

В 1962-68 гг. Шевченковской ГРП (А. Р. Ниязов, М. Д. Брылин) проводились поиски ильменит-рутиловых руд в коре выветривания метаморфических пород протерозоя [30]. В результате было открыто Кундыбайское титановое рудопроявление и впервые указано о наличии черчитового оруденения, локализующегося в коре выветривания совместно с ильменит-рутиловой минерализацией и дана высокая оценка перспективности месторождения как редкоземельного [31].

В 1968-69 гг. Б. Л. Кимаевым на площади месторождения были проведены в небольшом объеме поисковые работы на вольфрам, которые не дали положительных результатов. В 1975-81 гг. А. Р. Ниязовым, М. Д. Брылиным, Ф. Ф. Шайдулиным, В. Г. Чернышевым на Кундыбайском месторождении проводились поисково-оценочные работы, по результатам которых составлен отчет, подсчитаны запасы иттрия и редких земель [32].

Начиная с 1996 г. на месторождении геологоразведочные работы проводит ТОО «Горнорудная компания Кундыбай». Выполнены технологические исследования, а между линиями 113-122 комплекс буровых и горных работ, гидрогеологические исследования. Настоящий отчет включает в себя обобщение результатов работ выполненных ТОО «Горнорудная компания Кундыбай» и всех работ выполненных ранее на месторождении [33].

Геофизическая изученность. Впервые геофизические исследования были выполнены в 1931 г. М. Балдиным - сейсморазведка по профилю Карталы-Ишим.

В 1936 г. А. Юньковым и П. Купиным проведена магнитометрическая съемка масштаба 1: 25 000 и составлена карта магнитных аномалий Кундыбайского и Южно-Аккаргинского серпентинитовых массивов [34].

С 1948 г. проводятся систематические геофизические исследования.

В 190 г. Д. П. Касаткиным проведена магнитная съемка масштабов 1: 50 000- 1: 25 000 магнитометром М-2.

В 1958-59 гг. С. Меджидовым и А. Ничипуренко проведены работы с целью поисков силикатных кобальт-никелевых руд на Шевченковском, Джетыгаринском, Кундыбайском и Аккаргинском массивах методами магниторазведки, электроразведки и металлометрии.

В 1959 г. Адаевской партией ТГЭ территории и прилегающие районы были покрыты аэромагнитной и аэрогамма-съемкой в масштабе 1: 25 000, в результате работ было уточнено местоположение Джетыгаринского разлома.

На Шевченковском и Кундыбайском массивах, с целью изучения хромитоносности, Амангельдинской геофизической экспедицией в 1961 г. были выполнены выборочные гравиметрические работы. Рудопроявлений хромитов обнаружено не было.

В 1962-63 гг. Кундыбайской партией Амангельдинской геофизической экспедиции были проведены работы (Г. Философов, В. Трапезников, Я. Новицкий). На участке листа М-41-2-В выполнена комплексная геофизическая съемка масштаба 1:50 000 методами электроразведки, магниторазведки, металлометрии, радиометрии [35].

Гидрогеологическая изученность. Первые сведения по гидрогеологии района были получены в результате гидрогеологической съемки масштаба 1: 500 000, проводившейся на площади листа М-41-А в 1955-56 гг. В 1955-60 гг. в районе проводилось бурение разведочно-эксплуатационных скважин для водоснабжения совхозов и колхозов. В 1961-66 гг. были проведены гидрогеологические работы на Шевченковском месторождении кобальт-никелевых руд.

В 1966-68 гг. Кустанайской гидрогеологической экспедицией открыто Мюктыкольское месторождение подземных вод.

Специальных инженерно-гидрогеологических работ на Кундыбайском месторождении ранее не производилось. В 2011 г. в районе линий 113-128 были пробурены 4 гидрогеологические скважины и выполнены специальные гидрогеологические исследования [35, с. 28;36].

3.1.2 Краткая геологическая и минералогическая характеристика месторождения Кундыбай

В пределах древних позднепротерозойских метаморфических толщ вдоль Шевченковского ультраосновного массива в 1962-1968 гг. поисковыми работами было установлено распространение титановых минералов и минерала черчита, который считался единственным источником иттрия и редких земель [37,38]. Работами 1976-81 гг. было доказано, что редкоземельные металлы на месторождении связаны не только с черчитом, а входят в состав глинистых пород коры выветривания, а в черчитовых рудах сосредоточено незначительное количество редких земель. Была изменена методика поисковых работ, и содержание редких земель начали определять по всей массе глинистых пород. Поисковые работы сосредоточены в пределах участков распространения черчитовой минерализации. В итоге было разведано месторождение иттрия и редких земель (рисунок 4).

Вмещающие породы, структурное положение, тектоника. В описании геологического строения месторождения учтены материалы А. Р. Ниязова, Ф. Ф. Шайдулина и результаты геологоразведочных работ 1996-2011 гг.

Кундыбайское месторождение иттрия и редких земель приурочено к субмеридионально вытянутой полосе древних метаморфических пород Мариновской свиты вдоль западного экзоконтакта Шевченковского ультраосновного массива. С юга породы Мариновской свиты граничат с ультраосновными породами Кундыбайского массива (рисунки 5,6).



Рисунок 4 - Панорама участка работ

В тектоническом плане района эта территория является переходной зоной между двумя наложенными структурами, представленными Мариинской антиклиналью на северо-западе и Милютинской синклиналью на юго-востоке.

В строении месторождения принимают участие три группы пород, которые снизу вверх слагают вертикальную зональность:

1. Плотные, сильно дислоцированные, кристаллические породы докембрия, залегающие в основании месторождения.

2. Их рыхлые коры выветривания мезозойского возраста мощностью от единиц до нескольких десятков метров (в среднем 20-40 м), залегающие практически горизонтально в виде плаща, сохранившиеся почти на 95 % площади развития докембрийских пород.

3. Покровный чехол глин и суглинков палеоген-неогенового и четвертичного возраста, залегающих почти горизонтально с размывом на корях выветривания и имеющих мощность обычно 0,5-10,0 м, максимальная глубина развития покровных пород до 35,0 м (в пределах Третьей и Четвертой залежей).

Метаморфические породы докембрия самые древние в районе месторождения [39]. Литолого-петрографический состав их пестрый. По расположению в стратиграфической колонке они условно могут быть расчленены на три горизонта: верхний - кварцит-сланцевый, средний - амфиболитовый и нижний - гнейсовый.

Породы верхнего горизонта широко развиты в восточной части месторождения и образуют полосу, которая тянется в субмеридиональном направлении вдоль контакта с серпентинитами Шевченковского массива, постепенно сужается к югу и на широте Топографического участка выклинивается. Верхний горизонт сложен в основном слюдястыми сланцами переменного состава (в зависимости от соотношения биотита-хлорита-серицита-мусковита) с преобладанием хлоритовых разностей.

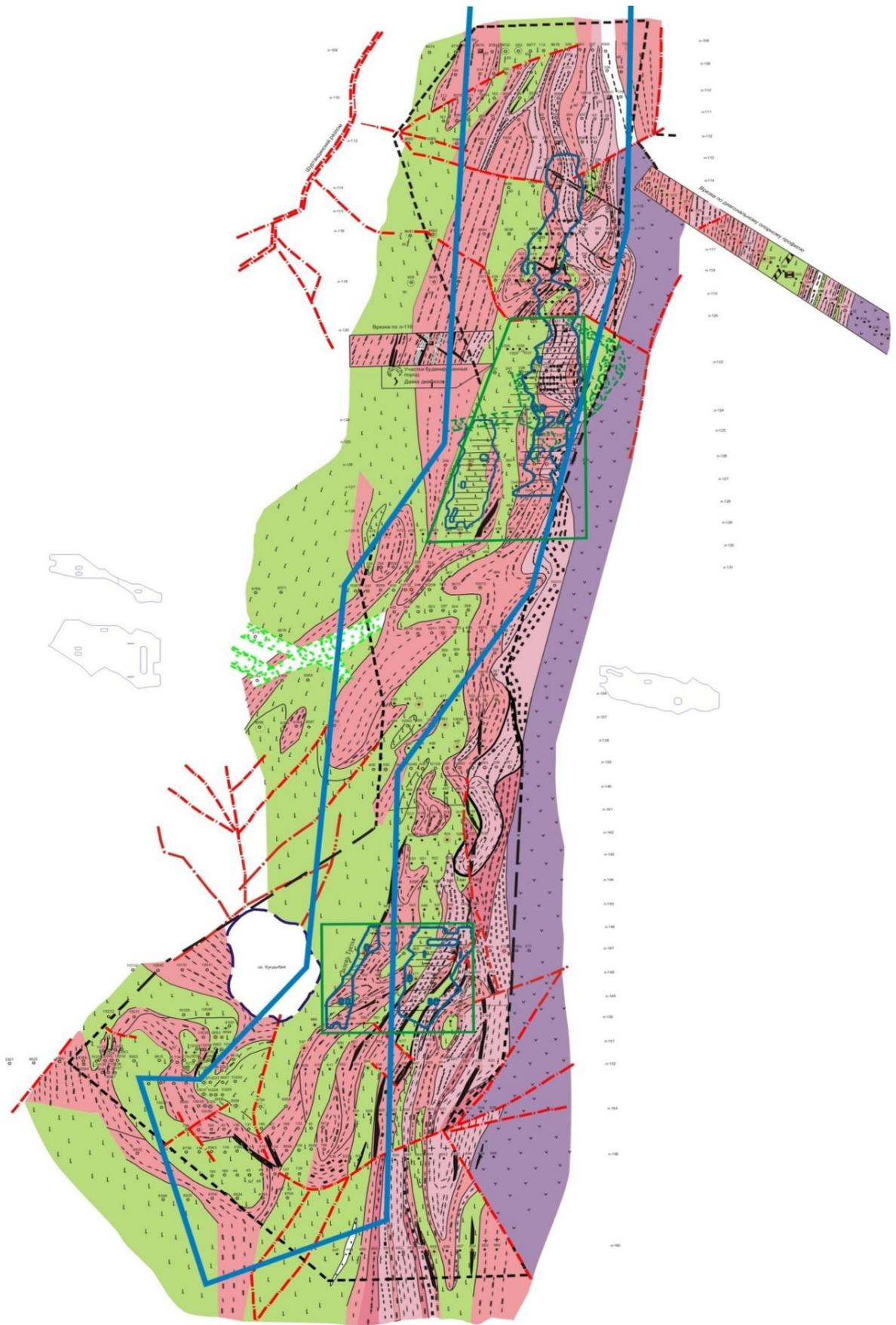


Рисунок 5 - Геологическое строение месторождение Кундыбай.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

	<p>Амфиболиты: 1) меланократовые до анхимономинеральных (содержание роговой обманки более 70 %; 2) обыкновенные и лейкократовые (содержание роговой обманки 30-70%); 3) гранатовые</p>		<p>Чертиковая минерализация: 1) убогая непромышленная (до 0.15 кг/т) 2) промышленная (0.15-05 кг/т) 3) богатая промышленная (более 0.5 кг/т)</p>
	<p>Гнейсы: 1) анхимономинеральные полевошпатовые, фенитизированные вплоть до фенитов; 2) мусковитовые; 3) биотитовые; 4) хлоритовые; 5) гранатовые; 6) роговообманковые</p>		<p>Выработки прошлых лет: 1) скважины на титан (1962-1968 гг.) 2) шурфы на титан (1962-1968 гг.)</p>
	<p>Микрогнейсовые: 1) мусковитовые; 2) биотитовые; 3) биотит-мусковитовые; 4) биотит-роговообманковые</p>		<p>Выработки прошлых лет на TR: 1) скважины; 2) линии скважин пройденные через а) 25 м, б) 5.5-12.5 м; 3) шурфы</p>
	<p>Кристаллические сланцы средних-высоких ступеней метаморфизма: 1) кварц-полевошпат-мусковитовые лейкократовые, 2) те же с горизонтм марганцевых пьомонит-сплессаритовых сланцев; 3) биотитовые; 4) гранатовые; 5) хлоритовые; 6) биотит-гранатовые</p>		<p>Элементы залегания: 1) горизонтальное (пород); 2) наклонное (пород); 3) наклонное (даек)</p>
	<p>Сланцы низких ступеней метаморфизма: 1) кварц-хлоритовые с серицитом; 2) кварц-хлоритовые с графитом (до 1-3%); 3) кварц-графитистые (графита 3-20%)</p>		<p>Номера поисковых линий</p>
	<p>Кварциты: 1) графитистые; 2) железистые</p>		<p>Скважины пробуренные в 1996-2011 гг.</p>
	<p>Серпентиниты</p>		<p>Контур прогнозных ресурсов категории P1</p>
	<p>Дайки: 1) диабазов и диабазовых порфиритов; 2) альбитофиров; 3) пегматитов</p>		<p>Рудная залежь</p>
	<p>Наложённые метасоматические процессы: 1) эпидотизация; 2) альбитизация и калишпатизация вплоть до фенитов; 3) карбонатизация; 4) хлоритизация; 5) турмалинизация; 6) окварцевание; 7) сульфидизация (пирит и др); 8) биотитизация; 9) амфиболитизация</p>		<p>Первый участок детализации рудных тел (1975-1981гг.)</p>
	<p>Тектонические брекчи и милониты, установленные скважинами, будинированные породы</p>		<p>Второй участок детализации рудных тел (1975-1981гг.)</p>
	<p>Данные дешифрования: 1) тектонические разломы по характеру овражно-балочного рисунка; 2) поля кварцевых выскопок; 3) тектонические разломы по посадочным котловинам и депрессиям</p>		<p>Граница геологического отвода</p>

Рисунок 6 - Условные обозначения к геологической карте месторождения Кундыбай

Небольшим развитием пользуются кварциты и кварцитовые сланцы, а также маломощная своеобразная по составу пачка пьемонтит-спессартиновых сланцев. Практически все породы графитизированы и создают прослой черных сланцев обычно незначительной мощности - первые метры. Слюдистые сланцы сложены преимущественно кварцем и кислыми плагиоклазами (60-80%), с существенным преобладанием кварцевого материала. Остальные 20-40% породы представлены слюистой группой минералов - хлоритом, мусковитом, серицитом, биотитом, соотношение которых определяет название породы. В качестве второстепенных и не очень характерных минералов отмечаются гранат, иногда амфибол [40].

Для сланцев характерен постепенный взаимопереход от одной разновидности в другую. Осветление сланцев сопровождается увеличением доли кварца, вытесняющего в породе полевой шпат, вплоть до образования почти мономинеральных кварцитовых сланцев и массивных кварцитов, которые создают в толще слюистых сланцев маломощные линзочки. При переходе от меланократовых разновидностей к лейкократовым также изменяется состав слюд от железисто-магнезиальных (биотита-хлорита) до алюминиевых (мусковита-серицита). Графит и пирит тесно связаны между собой и, пожалуй, тяготеют к мусковитовым сланцам и кварцитам. При отсутствии графита вместо пирита появляются оксиды железа - магнетит (в меланократовых породах) и гематит (в лейкократовых сланцах).

Все сланцы имеют лепидогранобластовую структуру и линейно-сланцевую (или волнисто-сланцевую) текстуру [41,42].

Из рудных минералов рутил в количестве до 5% присутствует в графит-хлоритовых и графит-кварцевых сланцах. В мусковитовых и других лейкократовых сланцах широко развит титаногематит, составляющий до 10% породы [43].

Средний, *амфиболитовый горизонт* представлен обыкновенными амфиболитами и их меланократовыми и лейкократовыми разновидностями. Породы этого горизонта, целиком слагают Озерный участок, большую часть Приречного и часть Топографического участков.

Наличие биотита, мусковита, граната, хлорита, эпидота, графита и пирита в разных количествах и в разных сочетаниях позволяет выделить внутри основных типов пород их петрографические разновидности [44]. Амфиболиты – главные породы среднего горизонта, состоят в основном из двух минералов – обыкновенной роговой обманки и кислого плагиоклаза, которые развиты в равном количестве и с резким преобладанием амфибола (вплоть до анхимономинеральных амфиболитов). Второстепенные минералы – эпидот и хлорит, составляют в породе от первых единиц до первых десятков процентов. Столь характерная для гнейсов ассоциация гранат-биотит-мусковитового состава в амфиболитах в редких случаях достигает 3–5% породы. Типичными аксессуарными минералами являются магнетит и апатит. Рудная минерализация, как ильменита, так и рутила наиболее богато и широко представлена именно в амфиболитах. Отмечается важная закономерность, установленная Б. А.

Шжуропатом, – концентрация рутила в породе увеличивается от лейкократовых к меланократовым амфиболитам, достигая максимальных значений в меланократовых массивах и в анхимономинеральных амфиболитах.

Гнейсы нижнего горизонта сложены в основном полевыми шпатами (40-90 % породы) и кварцем (10-50%). Меланократовые минералы – биотит, хлорит, гранат, амфибол, эпидот в сумме не превышают 30%. Среди полевых шпатов преобладает олигоклаз и альбит, иногда отмечается и калиевый полевой шпат. Из аксессуарных минералов присутствуют сфен, апатит и магнетит. В отличие от амфиболитов в гнейсах рудная минерализация в виде ильменита и рутила развита незначительно [45, с. 30;46]. К ним больше всего тяготеют **черчитовые руды**. Гнейсам присущи гнейсовидная и очковидная текстуры.

Интрузивные породы представлены единичными дайками основного, реже кислого состава.

Все складчатые структуры имеют субмеридиональное простирание с отклонением к востоку (сланцевый горизонт) и западу (амфиболитовый горизонт). Складчатость линейная, размах крыльев составляет, как правило, первые сотни метров при длине складок первые километры. Преобладают нормальные складки, реже изоклинальные, с падением крыльев 40-90°.

Разрывная тектоника проявлена широко и повсеместно. Вдоль западной части месторождения проходит Шуртандинский разлом, представленный субмеридиональной крутопадающей зоной перемятых раздробленных и интенсивно эпидотизированных, окварцованных и карбонатизированных пород. Блок западнее разлома испытывал в послемезозойское время подъем, а в палеоген-неогеновое время – опускание. Следствием этого неотектонического оживления разлома явился более глубокий срез коры выветривания на западном блоке и накопление здесь более значительных, по мощности неогеновых глин. Неотектоника затронула не только Шуртандинский разлом, но и целую серию субширотных и косоширотных (диагональных) разломов, разбивших месторождение на ряд блоков. Плоскость субмеридиональных разломов обычно совпадает с полосчатостью – слоистостью метаморфических пород, имея, как и последние, преимущественно крутое падение [35, с. 49;47].

На всех без исключения породах палеозойского фундамента развиты *коры выветривания*, которые относятся в основном к площадному морфологическому типу. Они слагают плащеобразные тела, линейно вытянутые согласно общему простиранию материнских пород. Обычные мощности составляют 10-40 м и лишь в тектонических зонах, где появляется линейная кора выветривания, достигают глубины развития до 80-110 м.

По всем породам наблюдается «каолинитовый» профиль коры выветривания, а в приконтактных зонах с ультрамафитами Шевченского массива развит «нотронитовый» профиль коры выветривания по серпентинитам [35, с. 49;48,49].

Коры выветривания - рыхлые песчано-глинистые породы, которые в разрезе (снизу вверх) представлены 3 этажами: нижней зоной дезинтеграции выщелоченных материнских пород мощностью 1-2 м, сложенной песчано-

глинистой каолинит-гидрослюдистой массой (80 % породы), в которой до 20 % составляют песчано-щебенистые обломки докембрийских пород; выше располагается средняя зона нацело каолинизированных рыхлых песчано-глинистых пород мощностью 20-40 м с сохранившейся реликтовой структурой материнских пород; наконец, верхняя зона сложена рыхлыми песчано-глинистыми бесструктурными каолинитами мощностью 3-5 м [50].

Снизу вверх от зоны выщелоченных пород до бесструктурных каолинитов происходит закономерное нарастание доли гипергенных минералов - пороодообразующих каолинита, гидрослюды, гидроокислов железа и марганца и вновь образованных минералов – черчита и лейкоксена [51]. В этом же направлении снижается доля остаточных алюмосиликатных метаморфогенных минералов, таких как пороодообразующие полевые шпаты, амфиболы, слюды, эпидот, гранат, цоизит и другие; содержание остаточных кварца и других рудных окислов (кульсонита, ильменита, рутила) снизу вверх нарастает и достигает промышленных концентраций в средней и верхней части разреза коры выветривания.

Залежи иттрия и редких земель. На месторождении в плане установлено четыре рудных залежи. Залежи, как правило, имеют вытянутую форму в меридиональном направлении, видимо наследуя простирание пород фундамента. Как мы уже отметили в пределах месторождения практически вся кора выветривания заражена иттрием и редкоземельными элементами и контуры рудных залежей в зависимости от значения бортового содержания ΣTR_2O_3 приобретают разные формы. По мере снижения величины бортового содержания залежи приобретают ровные очертания и, наоборот, при высоком бортовом содержании распадаются на ряд самостоятельных рудных блоков [52,53]. В разрезах залежи оконтуриваются как субгоризонтальные участки коры выветривания, с прерывистым и крайне неравномерным распределением повышенных концентраций ΣTR_2O_3 .

3.2 Вещественный состав руд на месторождении Кундыбай

Отличительной особенностью месторождения Кундыбай является наличие в рудах средних и тяжелых лантаноидов. В целом, легкие лантаноиды составляют – 46,85% от запасов месторождения. Больше всего они распространены в корах выветривания сланцев и гнейсов. Наблюдается снижение распространения легких лантаноидов в корах выветривания от сланцев к гнейсам и амфиболитам. Средние и тяжелые лантаноиды, иттрий больше распространены в корах амфиболитов и дайковых породах. Самым распространенным металлом на месторождении является иттрий – 39,3%, на втором месте церий – 20,6%, на третьем и четвертом – лантан и неодим – 11,9 %, 11,3% соответственно. Количество оксидов средних лантаноидов по месторождению составляет – 11,4%, тяжелых лантаноидов – 2,45%. Больше половины запасов месторождения – 53,15% составляют оксиды иттрия, средних и тяжелых лантаноидов, что является одним из главных особенностей месторождения [54-56]. В сумме иттрий + редкие земли доля иттрия составляет

54%. Спектр оставшихся 46% лантаноидов, принятый за 100%, выглядит следующим образом (таблица 1).

Таблица 1 - Распределение редкоземельных элементов

Редкоземельные элементы, в %		
Легкие – 34,2	Средние – 39,4	Тяжелые – 26,7
Лантан – 6,6	Самарий – 4,6	Эрбий – 12,2
Церий – 11,2	Европий – 2,0	Тулий – 1,9
Празеодим – 1,2	Гадолиний – 11,8	Иттербий – 11,3
Неодим – 15,2	Тербий – 2,0	Лютеций – 1,2
	Диспрозий – 15,4	
	Гольмий – 3,6	

3.2.1 Изучение минерального состава коренных пород и коры выветривания

По результатам исследований разнообразие минерального состава исходных пород и их кор выветривания соответственно уменьшается от гнейсов (28 и 45) к сланцам (24 и 31) и к амфиболитам (22 и 29), а в таблице 2 приведены средние содержания минералов в целом для исходных пород и коры выветривания.

При *микроскопическом изучении коренных пород* в отраженном свете нами был найден собственно редкоземельный минерал монацит в мусковит-кварцевом сланце и в основном минералы титана, которые описаны ниже.

Монацит - мелкие редкие вкрапления монацита – фосфата редких земель цериевой группы заключены в слюдястом минерале. На рисунке 7 отчетливо видно как он развивается вдоль спайности слюдястого минерала – 6х50 мкм и более мелкие. Отмечаются короткие мелкие включения удлиненной и неправильной формы (рисунок 8). По результатам двух микрозондовых анализов установлены в одном анализе (№ 3) только РЗЭ цериевой группы (La, Ce, Pr, Nd), в другом (№ 1) в небольших концентрациях присутствует элементы иттриевой группы (Gd и Tb). Состав слюдястого минерала приведен в таблице 3 (анализ 2).

Титаномагнетит, магнетит, гематит, ильменит – как акцессорные минералы встречаются в виде редких вкраплений в массе породы. Зерна гематита изометричной формы с видимыми гранями отмечаются вдоль трещинок, имеют размеры до 0,5 мм, сростки до 0,8 мм. Редкие вкрапления магнетита в массе породы размером до 0,05х0,1 мм. Титаномагнетит - редкие выделения неправильной формы – 0,02 – 0,05х0,1 мм и пластинчатой удлиненной – 0,01х0,1 мм в массе породы. Также встречается в промежутках зерен граната - 0,01-0,02х0,05 мм и до 0,1х0,3 мм.

Таблица 2 - Средние содержания минералов в метаморфических породах и их корах выветривания, в г/т

№№ п/п	Минерал	Материнская порода	Кора выветривания
1	Ильменит	3509	3937
2	Лейкоксен	28	341
3	Рутил	646	1789
4	Магнетит	96767	250
5	Гематит	3343	96
6	Мартит	1	285
7	Лимонит	8225	73018
8	Циркон	27	27
9	Тумалин	160	864
10	Апатит	1473	197
11	Барит	284(г)	8
12	Флюорит	28(г)	-
13	Пирит	1876	98
14	Халькопирит	1657	-
15	Сфалерит	72	0,5
16	Сфен	4	0,4(г)
17	Гранат	2546	3110
18	Эпидот	5584	1738
19	Ставролит	10	69
20	Андалузит	498(с)	16
21	Кианит	10	311
22	Крандаллит	-	8(с)
23	Цоизит	-	5(а)
24	Сидерит	745	1
25	Ферморит	-	34

Примечание - буквенные индексы в скобках обозначают, что минерал встречен в одной пробе породы: а – амфиболит, г.- гнейс, с – сланец

Таблица 3 - Состав монацита и вмещающего монацит минерала (%), по данным микрозондового анализа

№ анш.	Элементы							
	2	3	4	5	6	7	8	9
К2217/34,2	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	La ₂ O ₃	Ce ₂ O ₃
	1,62	2,86	26,17	0,24	0,30	11,55	12,56	23,86
Ан.1	Pr ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Eu ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	Tb ₂ O ₃	Сумма	
	2,17	10,28	1,42	0,47	1,43	0,45	95,36	

Продолжение таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
K2217/34,2	Элементы								
Ан.2	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Сумма – 80,18					
	3,44	6,01	70,73						
K2217/34,2	Элементы								
Ан.3	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	La ₂ O ₃	Ce ₂ O ₃		
	5,95	6,81	28,28	1,05	4,61	14,69	27,29		
	Pr ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	Сумма – 101,59						
	1,93	10,99							

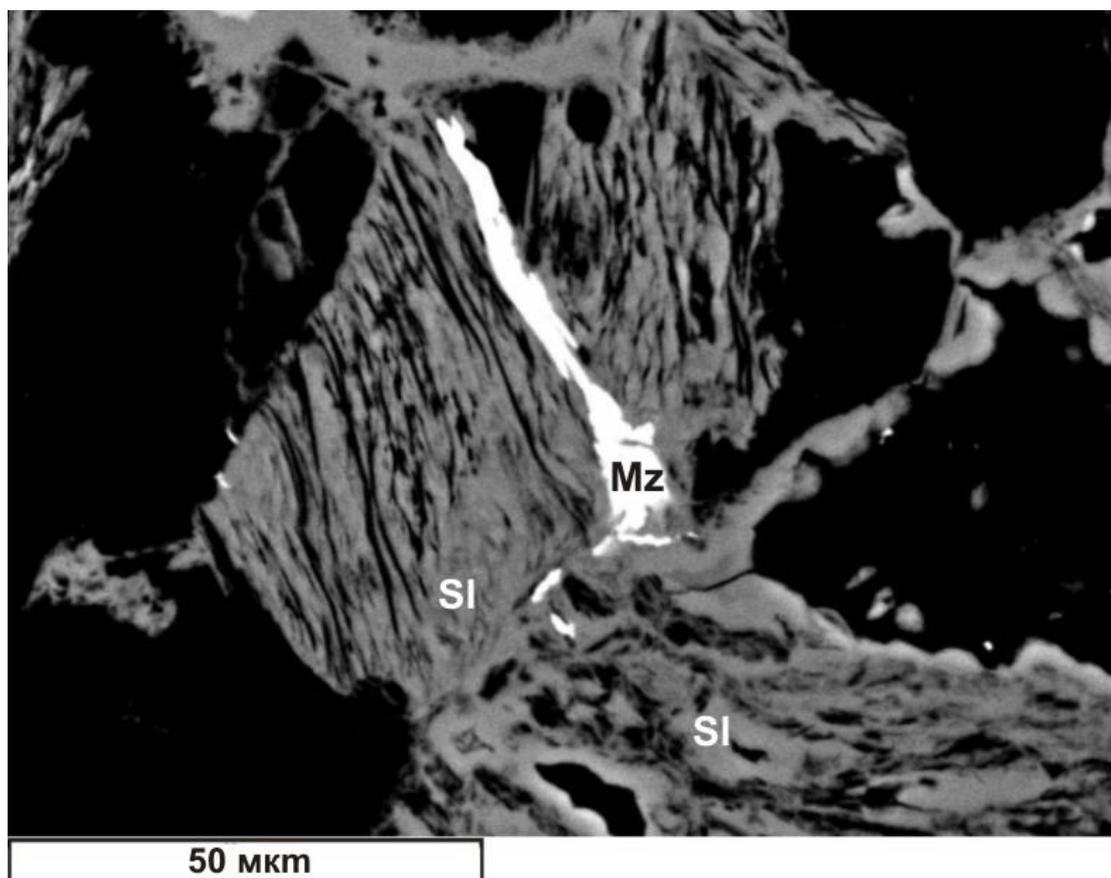


Рисунок 7 – Монацит (белое) в слюдистом минерале. Анш. 2217/34,2

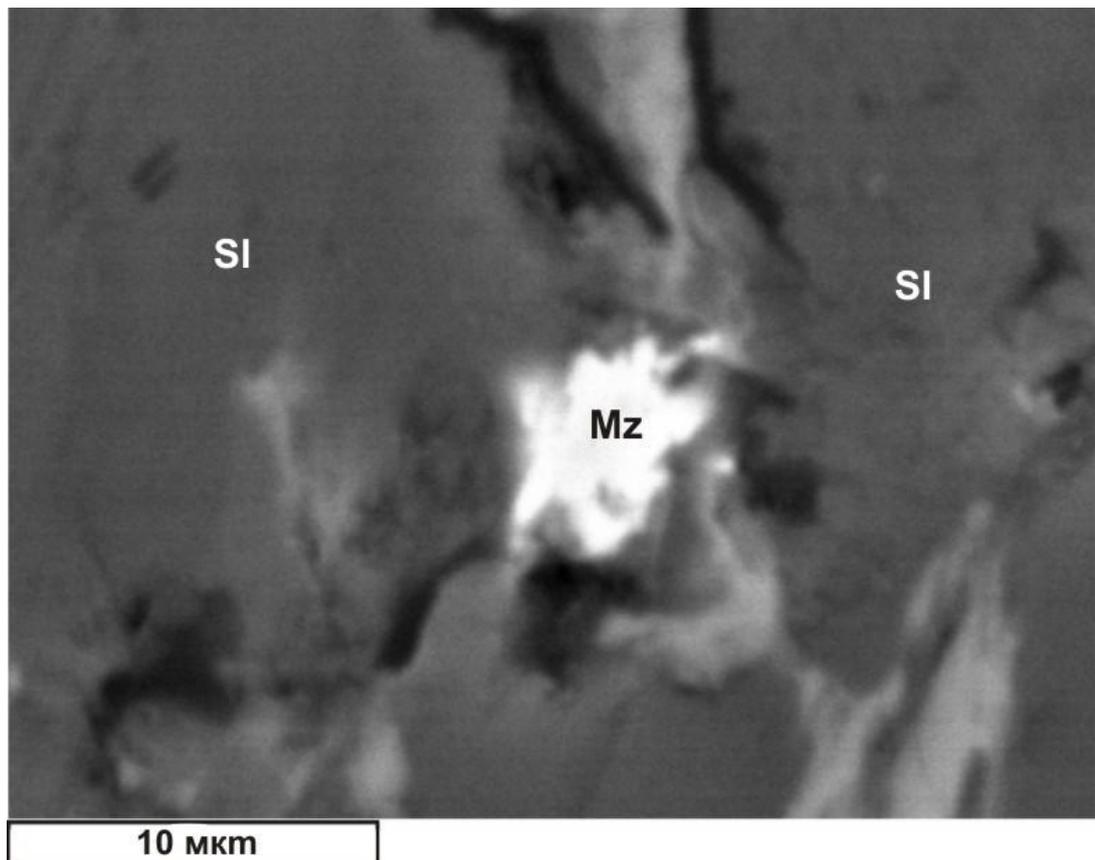


Рисунок 8 – Монацит (белое) в слюдистом минерале. Анш. 2217/34,2



Рисунок 9 – Зерна черчита. Протолочка пробы D-3

Иногда титаномагнетит образует скопления (до 0,7 мм). Ильменит в виде вкрапленников (0,02-0,2 мм) и довольно крупных выделений размером до 0,4x3 мм. В крупных выделениях ильменита наблюдаются тонкие пластинки титаномагнетита или магнетита.

В таблице 4 приведен минеральный состав руд месторождения Кундыбай. По результатам исследования протолочек, отобранных *из первичных руд*. В первичных рудах основным является собственно редкоземельный минерал черчит - (Y, Ce) PO₄·2H₂O – фосфат редких земель (рисунок 9).

Таблица 4 – Минеральный состав первичных руд месторождения Кундыбай

Основные	Второстепенные	Редкие и аксессуарные
Рудные		
Черчит		Магнетит Гематит Ильменит Рутил Пирит Халькопирит Титаномагнетит
Гипергенные – лейкоксен		
Нерудные		
Кварц	Мусковит Хлорит Биотит Гранат Эпидот-цоизит Амфибол Кианит Пироксен	Апатит Флюорит

3.2.2 Редкоземельные минералы коры выветривания

В качестве остаточных редкоземельных минералов в коре выветривания встречаются *ксенотим и монацит*.

Ксенотим образует мелкие, бесцветные, неправильной формы зерна. По составу лантаноидов является комплексным минералом с примерно равным относительным содержанием средних и тяжелых лантаноидов [57].

Монацит встречается в виде слегка округлых медово-желтых и светло-желтых, прозрачных с жирным блеском зерен. По нему образуется рабдофанит. Иногда наблюдаются полные псевдоморфозы рабдофанита по монациту. Состав РЗЭ в монаците селективно цериевый [58].

Характерной особенностью монацитов и ксенотимов месторождения является аномально высокое содержание в их составе европия, составляющее 1,3% от суммы лантаноидов в монаците и 1,5% - в ксенотиме, но по данным

среднее содержание европия в этих минералах составляет 0,05-0,2%. Оба минерала не представляют интереса в коре выветривания и встречаются редко.

В *коре выветривания* наиболее распространены новообразованные гипергенные редкоземельные минералы - *бастнезит, черчит, иттрорабдофанит, иттриевый и неодимовый паризит* [59,60].

Бастнезит встречается чаще всего в коре выветривания амфиболитов и гнейсов. В минералогических пробах его максимальное содержание достигает 2440 г/т. Бастнезит преимущественно находится в тех пробах, где содержание черчита незначительное. Минерал образует овоиды, которые нередко срastaются друг с другом. Бастнезитовые овоиды встречаются в срastании с мусковитом, биотитом, рутилом, эпидотом, кварцем, рудными и марганцевыми минералами. Химический состав бастнезита необычен по сравнению с известными, первичными и гипергенными бастнезитами. По составу лантаноидов кундыбайские бастнезиты делятся на две группы: неодимовые и иттриевые. К первой из них - относятся неодимовые бастнезиты, в которых почти полностью отсутствует церий, но аномально содержание неодима (44-45%), европия (2,2-3,8%) [13, с. 26].

В составе лантаноидов неодимового бастнезита группа лантана составляет 64,8%, группа иттрия - 32,4%, группа скандия - 2,8%.

Иттриевый бастнезит внешне ничем не отличается от неодимового, однако имеет в своем составе резко отличный спектр лантаноидов [61]. В составе иттриевого бастнезита преобладает иттриевая и скандиевая группы. Групповой средний состав иттриевого бастнезита: группа лантана - 8,7% от суммы РЗЭ, группа иттрия - 54,8%, группа скандия - 36,5%. Иттриевый бастнезит также характеризуется высоким содержанием европия (0,4-2,1%), хотя и уступает в этом отношении неодимовому бастнезиту [62].

Черчит является самым распространенным гипергенным редкоземельным минералом на месторождении. В минералогических пробах иногда его содержание достигает до 6,162 кг/т. Формы выделения черчита очень разнообразны. Выделяются следующие основные шесть форм: 1 - агрегативно-почковато-уплощенная, 2 - округло-агрегативная со сглаженной поверхностью, 3 - остроугольная обломочная, 4 - округлая, с ярко выраженными почками на поверхности, 5 - уплощенные, 6 - плейчатые, овоиды уплощены и собраны в группы, с поверхности наблюдаются микроформы кристаллов. Первые три формы выделений черчита, встречающиеся чаще остальных, имеют микро- или мелкозернистое строение. При раздавливании рассыпаются в порошок. Цвет их зависит от примазок или включений гидроокислов железа и марганца, в основном их цвет белый, бежевый с розоватыми или желтоватыми оттенками, и только четвертый тип выделений полупрозрачный бесцветный. Шестой тип выделений имеет светло-коричневый цвет за счет гидроксидов железа. Черчит часто встречается в срastании с рутилом, кианитом, эпидотом, ганконитом, фибролитом, и слюдами [63,64]. По химическому составу черчит месторождения близок к черчитам из других районов. Средний химический состав черчита: $\sum \text{TR}_2\text{O}_3$ - 48,38% (из них Y_2O_3 - 27,0%), P_2O_5 - 30,20%, H_2O -

15,47%, SiO₂ – 3,95%, Fe₂O₃ – 1,32%, Al₂O₃ – 0,27%, CaO – 0,03%. В черците, как и в бастнезите, содержится механическая примесь. После исключения примесей содержания укладываются в пределах $\sum TR_2O_3$ – 51,53%, P₂O₅ – 31,8-33,0%, H₂O – 14,7-18,1%. Черчит характеризуется комплексным составом лантаноидов с преобладанием иттриевой группы и низким относительным содержанием группы лантана [65]. Среди минералов черчита выделяется составом цериевый черчит, который в отличие от черчита в составе лантаноидов имеет примерно равные содержания групп:

Иттрорабдофанит (получил название из-за схожести структуры с рабдофанитом) визуально похож на черчит и представлен агрегатами светло-розового и светло-серого цвета. В своем составе основных компонентов является близким химическим аналогом черчита ($\sum TR_2O_3$ – 51,7%), но меньшим содержанием Y₂O₃ в сумме РЗЭ (4,78% против 27,0%).

Для цериевого черчита, черчита и иттрий-рабдофанита характерно повышенное содержание европия: церий-черчит – 2,4% (максимально 3,2%), черчит – 2,0%, иттрий-рабдофанит – 1,5%.

По результатам изучения *илиховых проб* коры выветривания участка Кундыбай к основным отнесены собственно редкоземельные минералы - иттриевый бастнезит и иттриевый-неодимовый паризит (таблица 5). Минералы визуально трудно отличимы друг от друга.

Бастнезит и иттриевый-неодимовый паризит - в количестве 15 % присутствуют в составе электромагнитной фракции и в немагнитной фракции 60%. Минералы трудно отличимы друг от друга. Неодимовый паризит не содержит в своем составе Се, но много Nd – 20,85% (таблица 6). На рисунках 10-12 неодимовый паризит. Он находится в тесном срастании со слюдой – мусковитом, состав которого подтвержден на микрозонде.

Таблица 5 - Минеральный состав коры выветривания месторождения Кундыбай

Основные	Второстепенные	Редкие и аксессуарные
Рудные		
Иттриевый бастнезит Иттриевый-неодимовый паризит	Ильменорутил	Магнетит, гематит, ильменит, циркон, пирит, рутил
Гипергенные - гетит, гидрогетит, окислы марганца		
Нерудные		
Кварц Альбит Слюда	Амфибол Эпидот-цоизит Гранат Кианит	Апатит
Гипергенные –лейкоксен		

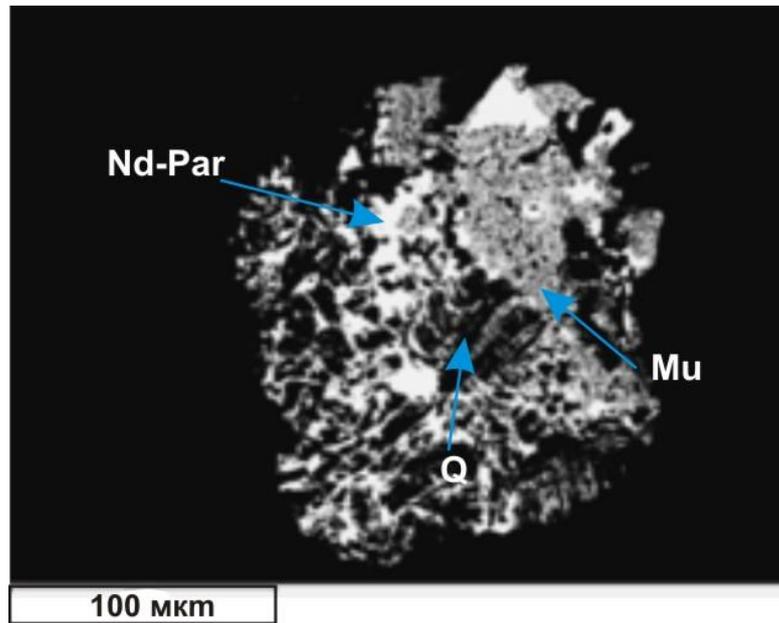


Рисунок 10 - Неодимовый паризит в тесном срастании с мусковитом. Обр. 1

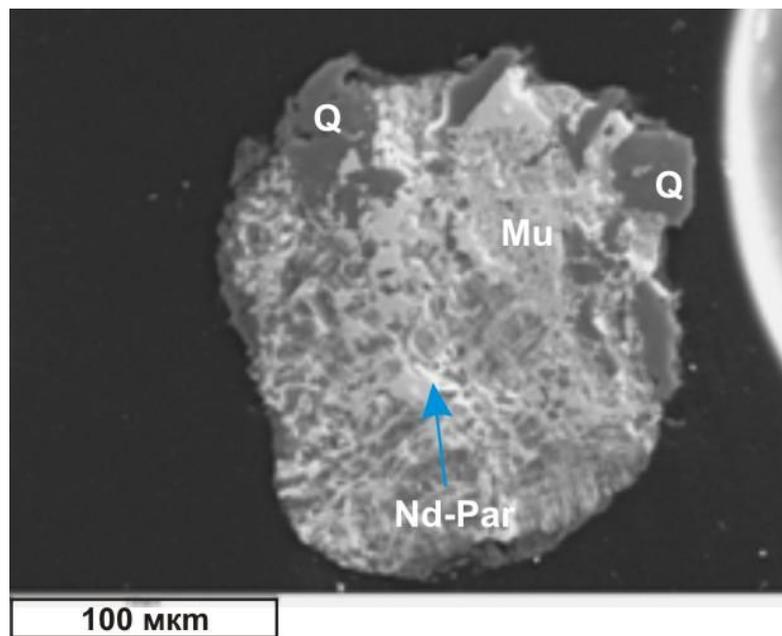


Рисунок 11 - Неодимовый паризит в тесном срастании с мусковитом. Обр. 1

Таблица 6 - Состав неодимового паризита по данным микрозондового анализа (%)

№ обр.	Элементы						
	F	SO ₃	CaO	Y ₂ O ₃	La ₂ O ₃	Pr ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃
№1	5,78	0,39	3,17	8,19	17,07	5,09	20,85
Среднее по 3 анализам	Sm ₂ O ₃	Eu ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	Tb ₂ O ₃	Dy ₂ O ₃	Сумма	
	5,79	1,9	4,25	1,33	2,38	76,19	

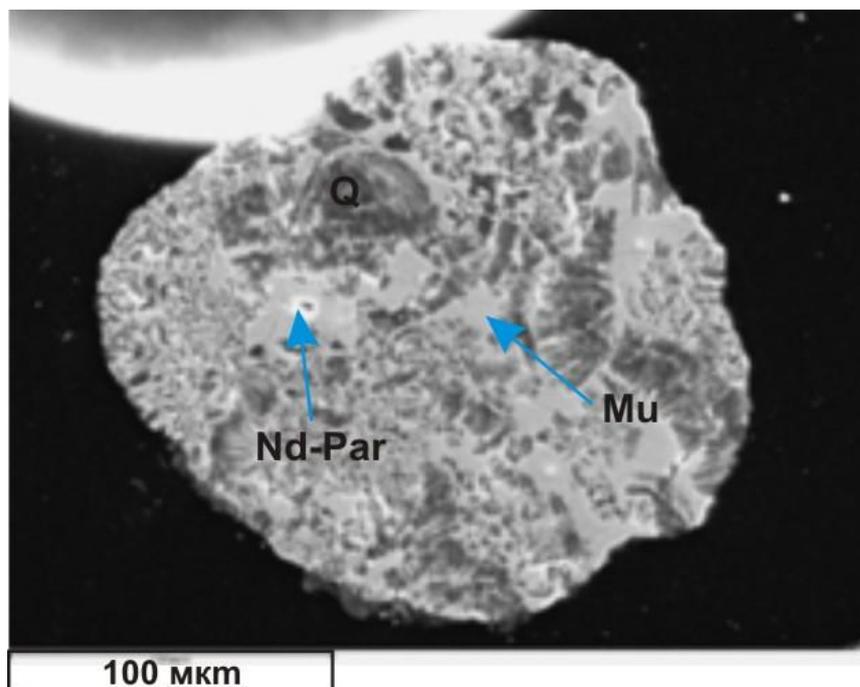


Рисунок 12 - Неодимовый паризит в тесном сростании с мусковитом. Обр. 1

Минералы с изоморфной примесью РЗЭ: глинистые минералы, ильменит, ильменорутит, флюорит, гидрослюды, циркон, цоизит, апатит, флюорит [66].

На рисунке 13 показан иттриевый бастнезит из шлиховой пробы, отнесенный к числу основных редкоземельных минералов в коре выветривания участка Кундыбай.



Рисунок 13 - Зерна иттриевого бастнезита из шлиховой пробы

Минералы тяжелых фракций концентратов (шлихов) представлены в основном минералами магнитной, электромагнитной и немагнитной фракций (таблица 7).

Легкая фракция представлена заметноокатанным, слегка трещиноватым прозрачным кварцем, с развитием по трещинкам и пустоткам серицита, альбита, лимонита, светло-бурой и светлой слюды. В магнитной фракции магнетит интенсивно гематитизирован и мартитизирован, форма зерен октаэдрическая, цвет черный, темно-буро-черный, красновато-буро-черный [67-69].

В электромагнитной фракции основная масса представлена гематитом с включениями ильменита в виде структуры распада. Форма зерен гематита столбчатая, плоская, отмечаются октаэдры (мартитизация), окраска черно-буро-красная. Присутствуют также другие рудные, нерудные, редкие и акцессорные минералы. Главными минералами немагнитной фракции являются циркон и иттриевый бастнезит, который также отмечается в электромагнитной фракции. Иттриевый бастнезит внешне белый, светло-желтый, оранжево-бурый, темно-бурый, форма зерен сфероидальная, шарообразная.

Таблица 7 - Минералы тяжелых фракций (кора выветривания)

Минералы магнитной фракции	Минералы электромагнитной фракции	Минералы немагнитной фракции
Магнетит сильно гематитизированный и мартитизированный	Рудные – гематит, ильменит, ильменорутил, лейкоксен, гидроксиды железа, окислы марганца; Редкоземельный минерал иттриевый бастнезит и иттриевый и неодимовый паризит-15%. Нерудные – амфибол, эпидот-цоизит, гранат.	Редкоземельный минерал иттриевый бастнезит и иттриевый и неодимовый паризит – 60%, циркон – 35%, остальные - лейкоксен, рутил, кианит, пирит, апатит.

3.2.3 Минералы-концентраты редкоземельной минерализации

Концентраторами редких земель в коренных породах являются некоторые второстепенные породообразующие минералы – гранат, биотит, а также акцессорные апатит и ортит. Отмеченные в единичных зернах ксенотим и монацит, не могут служить основным источником для накопления гипергенных, собственно редкоземельных минералов.

Распределение редких земель в процессе корообразования были изучены

В. В. Бурковым, а также Е. К. Подпориной и др. [70, 71]. Ими было установлено, что на Кундыбайском месторождении редкие земли в коре выветривания распределяются между тремя группами минеральных образований: 1) входят изоморфно в состав реликтовых эндогенных породообразующих минералов – гранат, апатит, ортит и др.; 2) концентрируются в собственных новообразованных гипергенных минералах – черчит, иттрорабдофанит и неодимовый бастнезит; 3) адсорбируются гипергенными коллоидальными минералами – каолинит, гидроокислы железа и др. Установлено, что наиболее богатые концентрации собственных редкоземельных минералов, среди которых выделяется и черчит, тяготеют к зоне структурных каолинов, особенно к ее нижней половине [72].

Исследователями на месторождении выделялись черчитовые и так называемые «биксбиитовые руды». *Черчитовыми* назывались руды, где установлены участки скопления минерала черчита. На начальном этапе разведки месторождения редкоземельное оруденение связывалось только с этим минералом. Последующими работами основной упор был сделан на валовое изучение пород коры выветривания и установлено, что эти руды хотя и имеют распространение в пределах месторождения, но самостоятельного промышленного значения не имеют, поскольку количество их в пределах месторождения незначительно. «*Биксбиитовые руды*» связаны с корой выветривания пьмонтит-спессартиновых сланцев, которые в виде самостоятельного горизонта мощностью от 50 до 200 м прослеживаются и фиксируются подсечениями на протяжении более 10 км и покрыты площадной корой выветривания мощностью от 20 до 50 м (редко до 70-90 м). В разрезе кор выветривания пьмонтит-спессартиновых сланцев верхняя часть разреза сложена не традиционными охристо-каолиновыми бесструктурными глинами, а черной и буровато-черной пористой порошковатой породой, легко растирающейся пальцами [35, с. 68;73]. Внешне они похожи на сильно омарганцованные охры в коре выветривания серпентинитов. Минералогическими и рентгеноструктурными анализами установлено, что основными минералами этой “черной земли” являются биксбиит, гетит, кварц. В небольшом количестве присутствуют каолинит и гидромусковит. По данным А. Р. Ниязова содержание марганца в биксбиитовых рудах иногда достигает до 15,3 %. Биксбиитовая минерализация в виде “марганцовой шляпы” развивается только на пьмонтит-спессартиновых марганцевых сланцах, которые представляют собой полевошпат-слюдистую породу с тонкой сланцеватостью. Мощность зоны биксбиитовой минерализации колеблется от 3 до 8 м (в среднем 5,0 м).

Было проведено большое количество *полуколичественных анализов геохимических проб и проб, отобранных по скважинам*. По их результатам исследования, отобранных по скважинам проб из коры выветривания установлены следующие редкоземельные элементы: 1) цериевого ряда – La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu и 2) иттриевого ряда – Y, Cd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu. Результаты по 88 пробам приведены в сводной таблице 8. Подсчитаны средние

содержания редкоземельных элементов в целом по месторождению. В таблице также показано суммарное количество редкоземельных элементов с выделением цериевого и иттриевого ряда. В среднем по месторождению Кундыбай сумма цериевого ряда составляет 7390 г/т, а иттриевого 699, т.е. значительное преобладание первого над вторым в 10 раз. Средние содержания Pr по скважинам колеблются от 3000 до 9000 г/т, составляя в среднем 5503 г/т и Nd от 1410 до 1850 г/т, составляя в среднем 1681 г/т. Если говорить о других редкоземельных элементах, то средние концентрации их по скважинам колеблются, г/т: La (21-61, в среднем 49), Ce (72-85, в среднем 78), Sm (47-75, в среднем 63), Eu (9-26, в среднем 16); в иттриевом ряду – Y (25-54, в среднем 41), Gd (94-125, в среднем 113), Tb (47-70, в среднем 60), Dy (141-195, в среднем 173), Ho (9-13, в среднем 11), Er (117-200, в среднем 154), Tm (0,29-0,42, в среднем 0,34), Yb (3-4, в среднем 3,5), Lu (80-248, в среднем 143).

С учетом геохимических проб, отобранных из коры выветривания по результатам анализов установлено, что в среднем по месторождению Кундыбай сумма цериевого ряда составляет 6364 г/т, а иттриевого 961, т.е. преобладание первого над вторым в 7 раз.

Таблица 8 - Средние содержания редкоземельных элементов по скважинам и геохимическим пробам Кундыбайского месторождения, в г/т

№ пробы	Σ TR	Элементы цериевого ряда (легкие)						Элементы иттриевого ряда (тяжелые)								
		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Y	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Скважина 5004 (среднее по 21 пробам)																
5004	8760	21	72	6140	1762	71	17	25	119	67	186	12	124	0,29	3	141
Скважина 5005 (среднее по 17 пробам)																
5005	5169	61	75	3000	1410	47	9	52	94	47	141	9	117	0,3	4	103
Скважина 5006 (среднее по 20 пробам)																
5006	11999	59	80	9000	1850	75	26	54	125	70	195	13	200	0,42	4	248
Скважина 5007 (среднее по 30 пробам)																
5007	6417	56	85	3870	1700	57	11	31	113	57	170	11	173	0,34	3	80
Среднее содержание редкоземельных элементов по приведенным скважинам участка Кундыбай, в г/т																
	8086	49	78	5503	1681	63	16	41	113	60	173	11	154	0,34	3,5	143
Примечание - В целом по скважинам месторождения Кундыбай Σ TR цериевого ряда – 7390; Σ TR иттриевого ряда – 699																
В целом по месторождению Кундыбай, с учетом геохимических проб по коре выветривания - Σ TR цериевого ряда – 6364; Σ TR иттриевого ряда – 961,6																

3.3 Трехмерная модель месторождения Кундыбай

Для построения трехмерной компьютерной модели месторождения были использованы материалы отчета ТОО «Асбестовое ГРП» («Геолого-экономическая оценка запасов иттрия и редких земель Кундыбайского месторождения по состоянию на 01.09. 2011 г.»). Эти материалы были предоставлены в виде геологической карты, геологических разрезов и планов опробования поверхности и подсчетных таблиц.

Все предоставленные материалы были отсканированы и привязаны по имеющимся координатам в программе Micromine.

Инклинометрия скважин (азимуты и углы наклона) снимались с геологических разрезов и в дальнейшем уточнялись при визуальном сличении компьютерной графики.

С геологических разрезов сделанных за 2012-2014 гг. были сняты все данные опробования и вносились в файлы формата программы Excel.

Для моделирования было использовано 14213 единиц информации по 817 скважинам.

3.3.1 Каркасная модель литологического строения и рудных тел месторождения

За основу каркасной модели брались границы рудного тела, оконтуренные по результатам работ по оценке запасов месторождения ТОО «Асбестовое ГРП» 2011 г, т.е. брались границы рудного тела по бортовому содержанию РЗЭ 300 г/т.

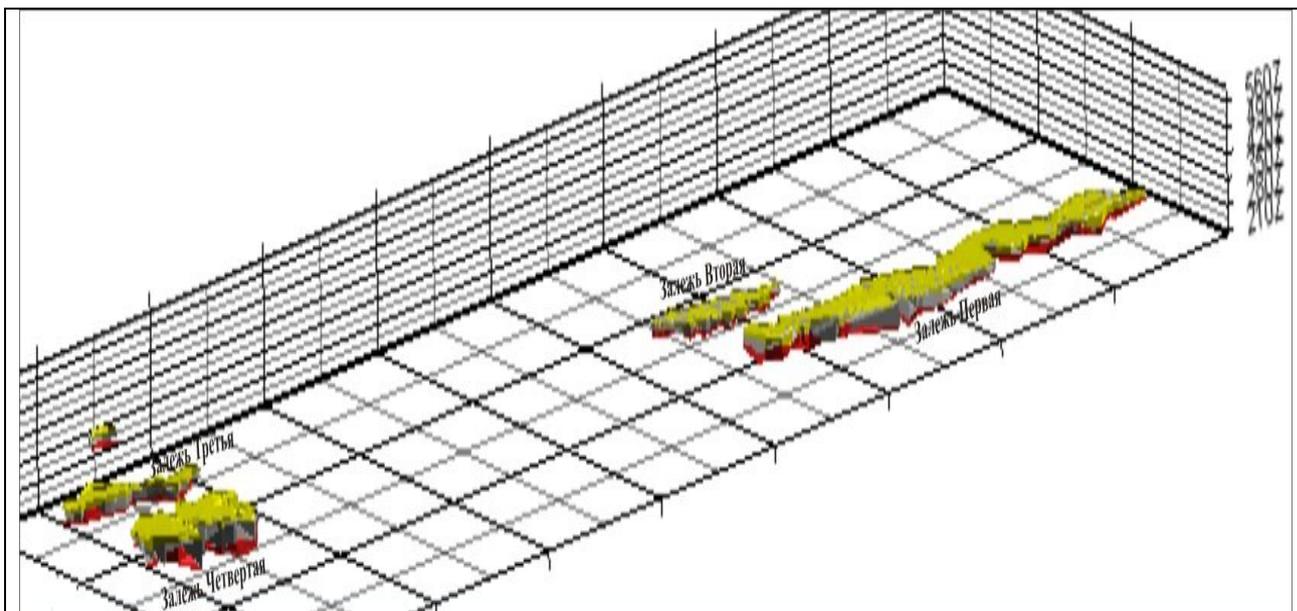
Моделирование литологического строения участка проводилось по литологическим границам, показанным на подсчетных разрезах (подсчету запасов 2011 г.).

Каркасная модель литологического строения месторождения Кундыбай. В строении месторождения принимают участие три группы пород:

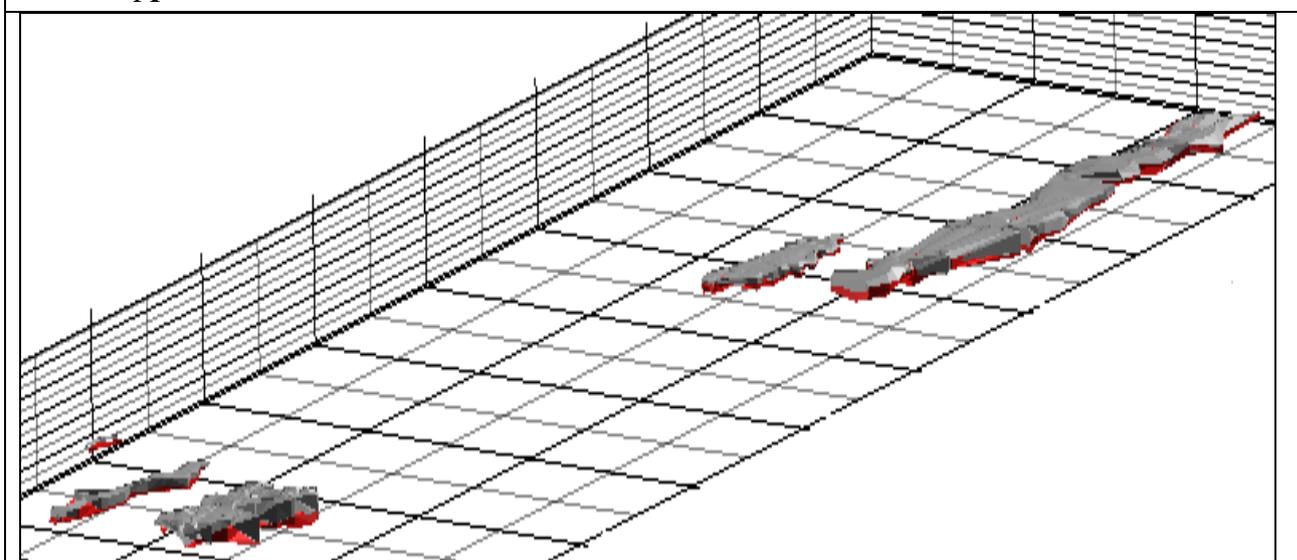
1. Кристаллические породы докембрия, залегающие в основании месторождения (амфиболиты, гнейсы, сланцы). Метаморфические породы докембрия самые древние в районе месторождения. Литолого-петрографический состав их пестрый. По расположению в стратиграфической колонке они условно могут быть расчленены на три горизонта: верхний - кварцит-сланцевый, средний - амфиболитовый и нижний - гнейсовый.

2. Их рыхлые коры выветривания мезозойского возраста мощностью от единиц до нескольких десятков метров (в среднем 20-40 м), залегающие практически горизонтально в виде плаща.

3. Покровный чехол глин и суглинков палеоген-неогенового и четвертичного возраста, залегающих почти горизонтально с размывом на корях выветривания и имеющих мощность обычно 0,5-10,0 м [37,с. 10-15].



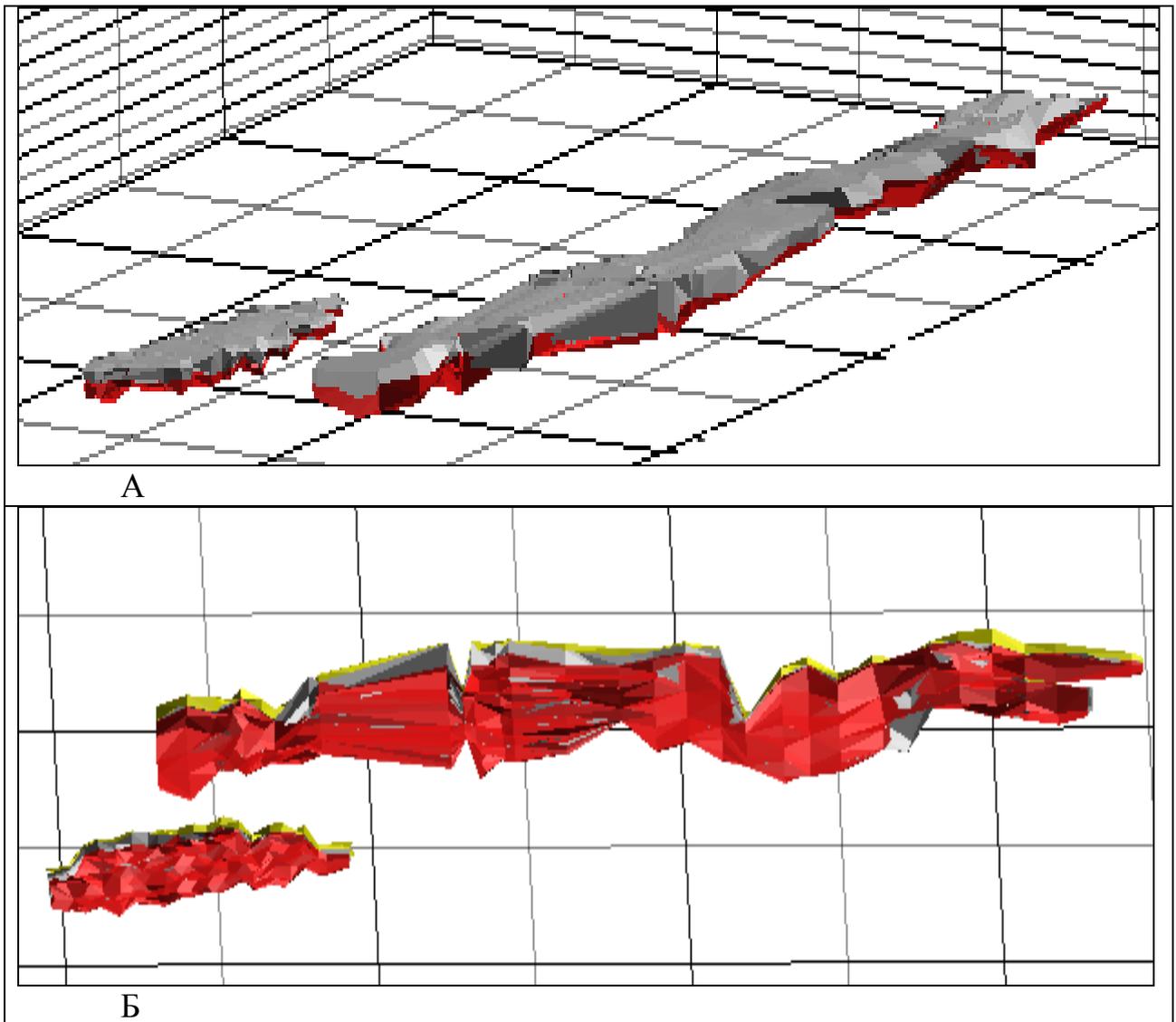
А



Б

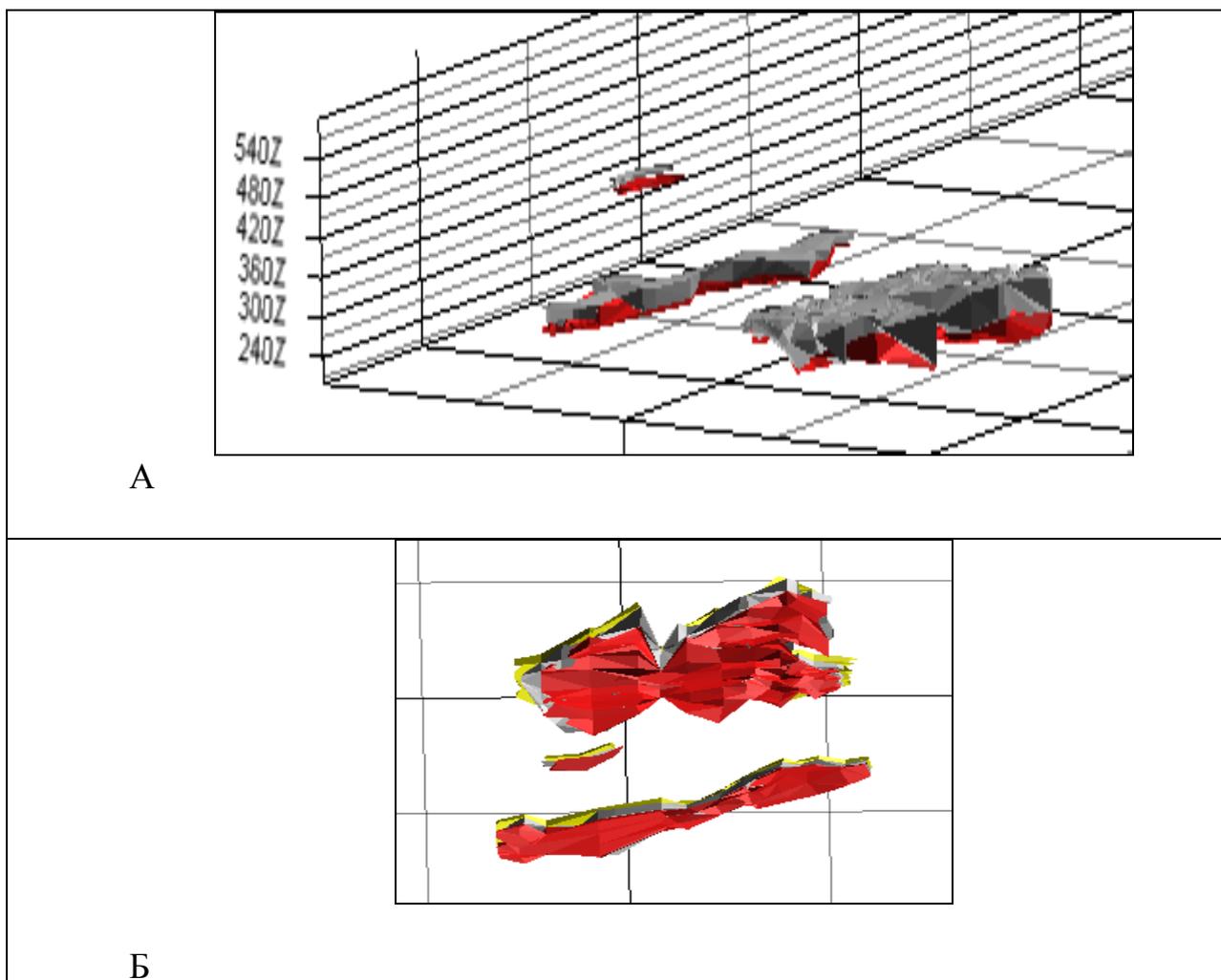
А,Б - Желтый – палеоген-неогеновые и четвертичные отложения; серый – кора выветривания; розовое – кристаллические породы докембрия (амфиболиты, гнейсы, сланцы)

Рисунок 14 - Каркасная модель литологического строения месторождения Кундыбай. Изометрический вид Северо-Запад



А- изометрический вид Северо-Запад; Б- вид снизу

Рисунок 15 - Каркасная модель литологического строения рудных залежей
Первая и Вторая



А- изометрический вид Северо-Запад; Б – вид снизу

Рисунок 16 - Каркасная модель литологического строения рудных залежей Третья и Четвертая

Итак, для каркасной модели были выделены следующие литологические слои: граница неоген-четвертичных отложений, граница коры выветривания, граница метаморфических пород (рисунки 14,15,16).

Рудовмещающими являются коры выветривания всех литологических разновидностей пород фундамента: амфиболиты, гнейсы, сланцы, которые четко различаются визуально, однако корреляционной связи между литологическими разновидностями пород и содержаниями суммы редких земель не установлено, поэтому на каркасной модели литологического строения месторождения более дробного расчленения пород не показаны (рисунок А,Б. 14).

Как известно, по породам палеозойского фундамента развиты *коры выветривания*, и выделены следующие типы:

- кора выветривания амфиболитов;
- кора выветривания гнейсов;

- кора выветривания сланцев;
- кора выветривания даек диабазов.

По геологическим данным в пределах месторождения самыми распространенными породами являются гнейсы и кора по ним – составляет 58,8%. Однако не во всех залежах и участках залежей гнейсы и коры по ним преобладают. Если в пределах южной части Первой и Четвертой залежей гнейсы и коры по ним составляют 77,4% и 66,7% соответственно, в пределах залежи Третьей и северной части Первой залежи доля их 44% и 28,4%, а в пределах Второй залежи всего 9,9%.

Доля амфиболитов и кора по амфиболитам составляют 20,3% месторождения. Больше всего они развиты в пределах Второй (88,9 %) и Третьей (41,2%) залежей, которые расположены в западной части месторождения.

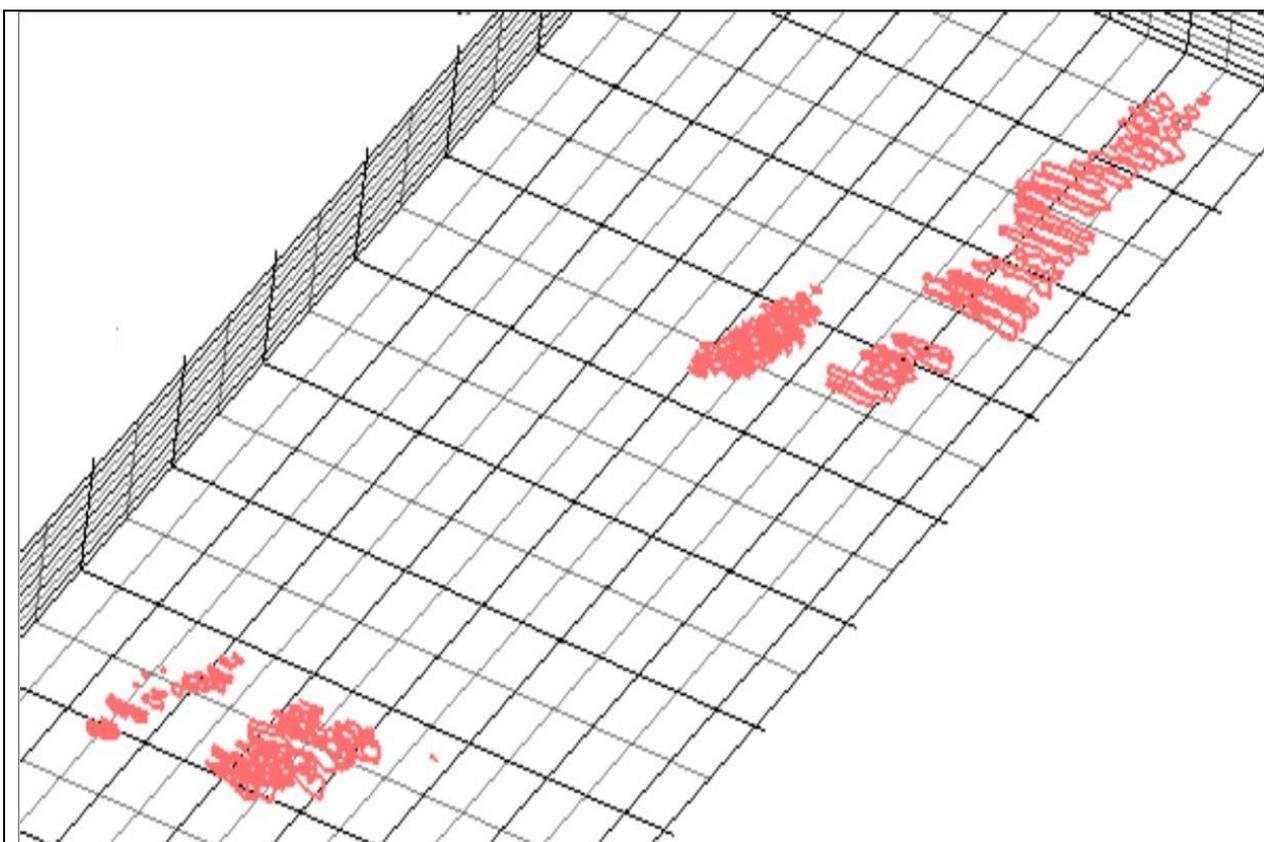
Сланцы и коры выветривания по ним приурочены, в основном к западной части месторождения, доля их на месторождении составляет 17,9%. Большая часть сланцев сосредоточена в северной части Первой залежи (60,2%) и в пределах Четвертой залежи (19,7%), в пределах Второй залежи их нет.

Дайковые породы (диабазы) и коры по ним распространены незначительно и составляют всего 3 % от пород месторождения, большая часть приурочена к Третьей залежи - 8,3%, меньше всего - 0,4% встречаются в пределах Второй залежи.

Наиболее распространенные разновидности метаморфических пород, по которым развивается кора выветривания с рудами иттрия и редких земель – биотитовые, биотит-гранатовые, амфибол-гранатовые и хлорит-амфибол-гранатовые гнейсы, меланократовые, обыкновенные и лейкократовые амфиболиты с эпидотом, хлоритом, гранатом и биотитом; плагиоклаз-кварц-мусковитовые, плагиоклаз-хлорит-мусковитовые, пьомонит-спессартиновые сланцы и амфиболиты [35,с. 68].

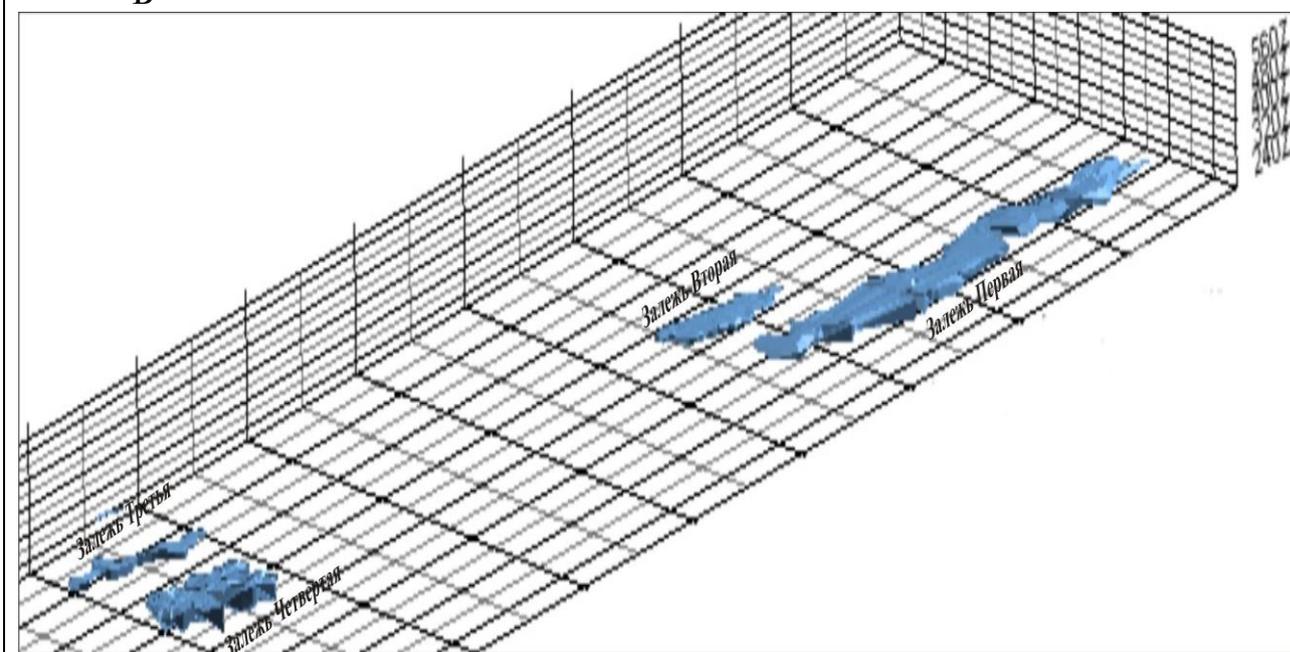
Каркасная модель рудных залежей месторождения Кундыбай. Для построения трехмерных каркасных моделей рудных залежей были построены стринги по данным опробования, т.е. околтурены разрезы по разведочным профилям (рисунок А. 17). Стринги использовались для создания каркасной модели рудного тела между разрезами (рисунок Б. 17).

На месторождении установлено четыре рудных залежей. Залежи имеют вытянутую форму в меридиональном направлении, наследуя простирание пород фундамента. Каркасные модели рудных залежей показывают, что их формы не сложные, простые, вытянутые (рисунок А,Б. 18). Самая протяженная по длине является залежь Первая (2865м), а остальные залежи имеют приблизительно одинаковые простирания (820-920м). По средней вертикальной полезной мощности отличаются залежи Первая и Четвертая, где значение мощности достигают от 80 до 70м, что почти в два раза больше чем полезные вертикальные мощности Третьей и Второй залежей.



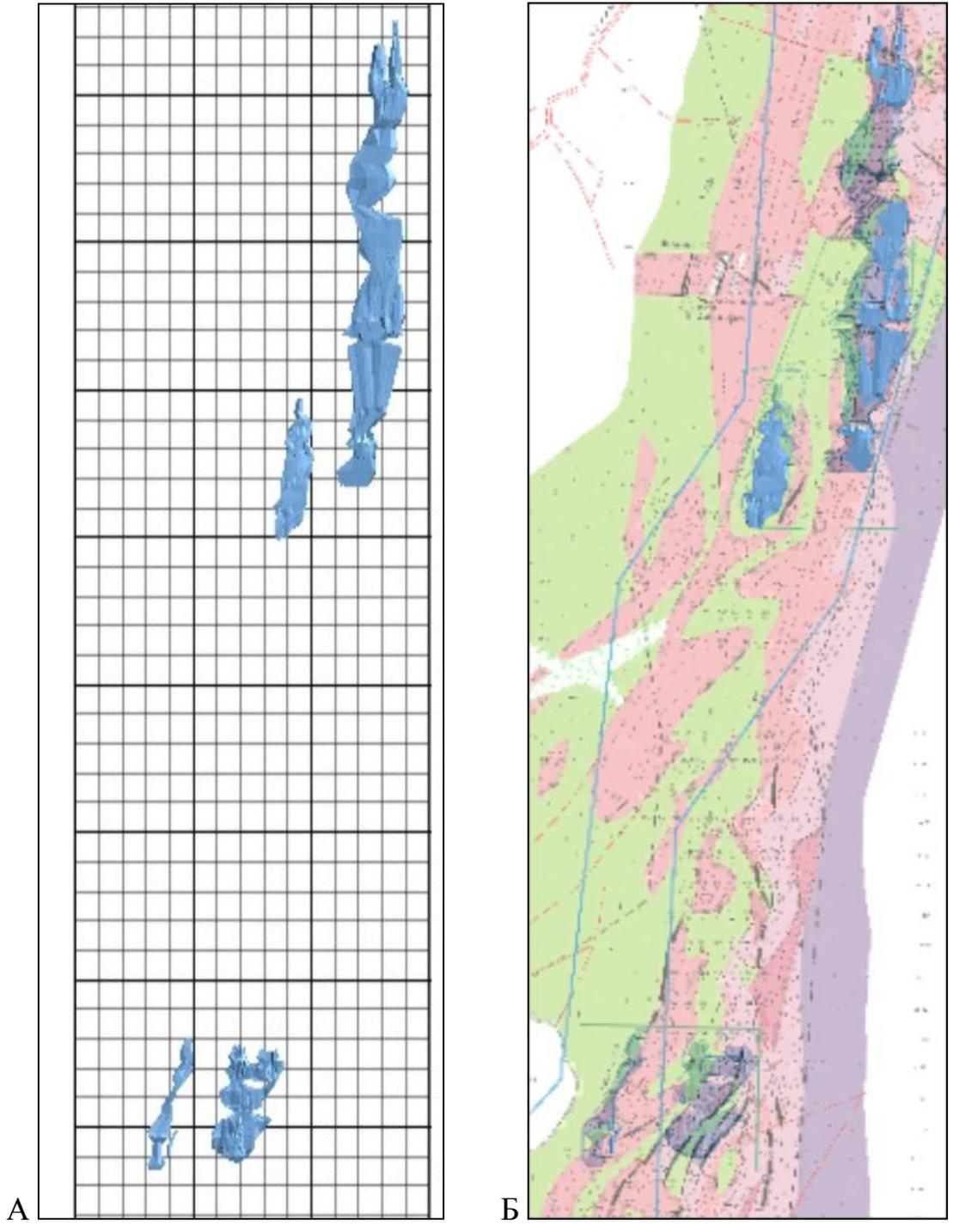
А

Б



А- стринги рудных залежей; Б - изометрический вид каркасной модели на Северо-Запад

Рисунок 17 - Каркасная трехмерная модель месторождения Кундыбай



А - вид сверху (план); Б - каркас рудных залежей совмещен с геологической картой месторождения

Рисунок 18 - Каркасная модель рудных залежей месторождения Кундыбай

3.3.2 Блочная модель месторождения Кундыбай

Построение блочной модели начинается с создания пустой блочной модели. После создания пустой блочной модели ищутся блоки, пересекающиеся с каркасом соответствующего рудного тела. Они оставляются в модели, и будут использованы при интерполировании содержаний оксидов иттрия и редких земель. Далее методом обратных расстояний для каждого блока определяются содержания полезных компонентов, т.е. – суммы оксидов иттрия и редких земель [74].

Итак, первоначально блочная модель, для рудных залежей месторождения Кундыбай, была создана при использовании размеров материнских ячеек 50x200x10 м по осям X, Y и Z. Затем они делились на блоки меньшего размера (минимальный размер блока 10x10x10 м по X, Y и Z осям) на выклинках рудных тел. Такие размеры блоков соответствуют параметрам разведочной сети участка и пропорциям рудного тела.

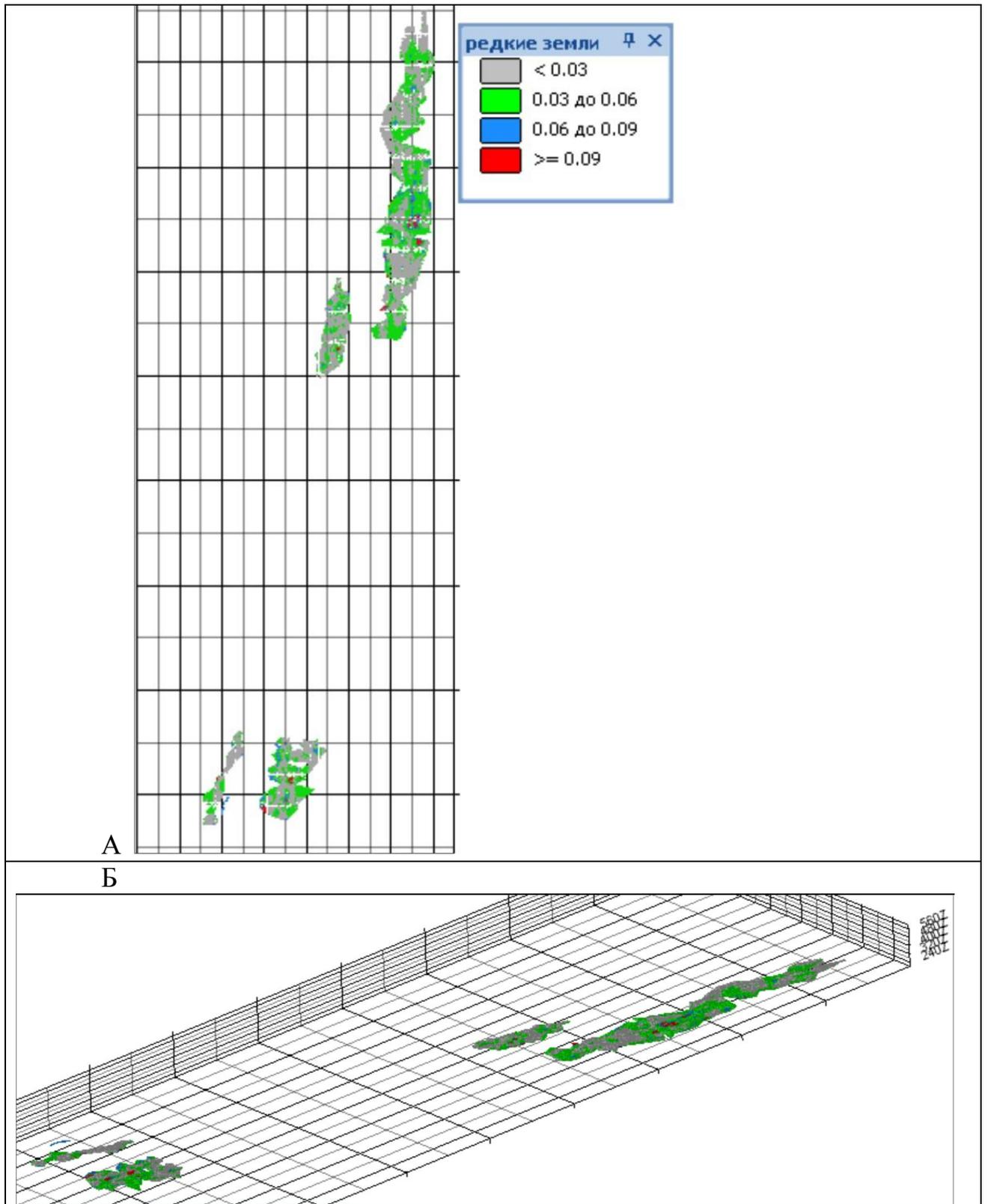
На следующем этапе композитные пробы с соответствующим содержанием суммы оксидов иттрия и редких земель были импортированы, в пустую блочную модель, затем проинтерполированы, используя метод обратных расстояний.

В результате получена визуализация зон различных содержаний суммы оксидов иттрия и редких земель, являющимися блочными моделями рудных залежей. Как было отмечено, блочная модель данного месторождения построена для четырех рудных залежей месторождения в различных позициях. Блочные модели рудных залежей, позволяющие рассмотреть их сверху, снизу и сбоку позволили уточнить локализацию зон различных содержаний суммы оксидов иттрия и редких земель в пространстве (рисунок А,Б. 19) [54,с. 163]. Далее приводим описание каждой рудной залежи исходя из блочной модели месторождения.

Залежь Первая. Зоны с повышенными содержаниями суммы оксидов иттрия и редких земель встречаются как в верхних, так и нижних горизонтах данной рудной залежи. Визуализация данной рудной залежи снизу показывает, что в нижних горизонтах северной части сосредоточены обширные зоны содержанием суммы оксидов иттрия и редких земель ниже бортового (меньше 0,03%). Это позволяет сделать заключение о том, что в северной части с глубиной уменьшается содержание оксидов РЗМ (рисунки 19,20). Об этом свидетельствуют модели разрезов по разведочным профилям (рисунок 21, профили 113,115).

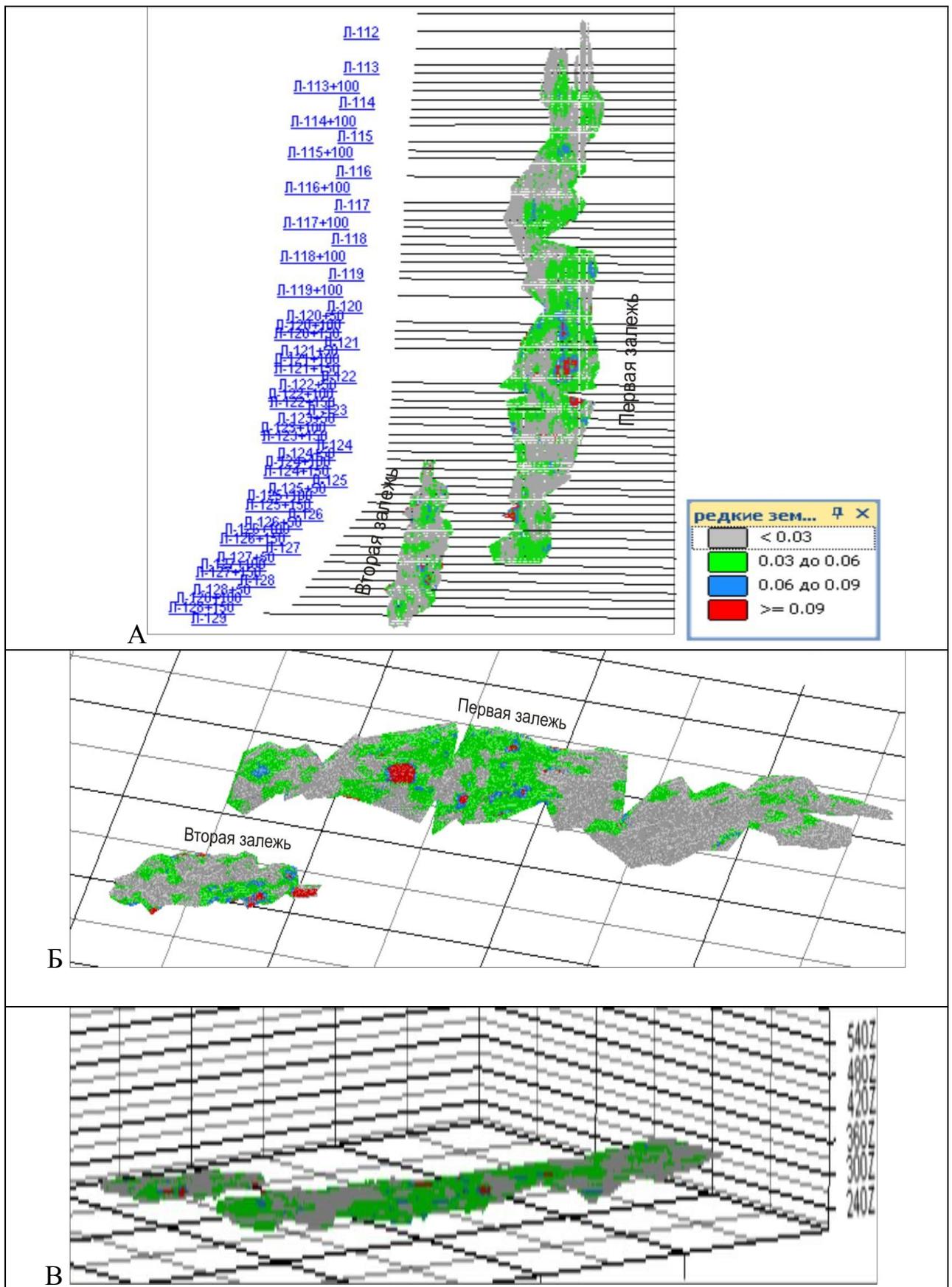
Южная часть данной рудной залежи отличается тем, что в ней равномерно распределены зоны с различными содержаниями суммы оксидов иттрия и редких земель. Зоны с более высокими их содержаниями от 0,06 до 0,09% и более встречаются как в верхних горизонтах, так и в нижних горизонтах рудной залежи (рисунки А,Б. 20; 21 профили 123+50, 125+150).

Вертикальный размах рудной залежи по блочной ее модели колеблется в пределах от 30 до 80м (рисунок В. 20).



А- вид сверху (план); Б - изометрический вид на Северо-Запад

Рисунок 19 - Трехмерная блочная модель месторождения Кундыбай



А

Б

В

А - вид сверху; Б - вид снизу; В - вид сбоку

Рисунок 20 - Блочные модели рудных залежей с разведочными профилями месторождения Кундыбай

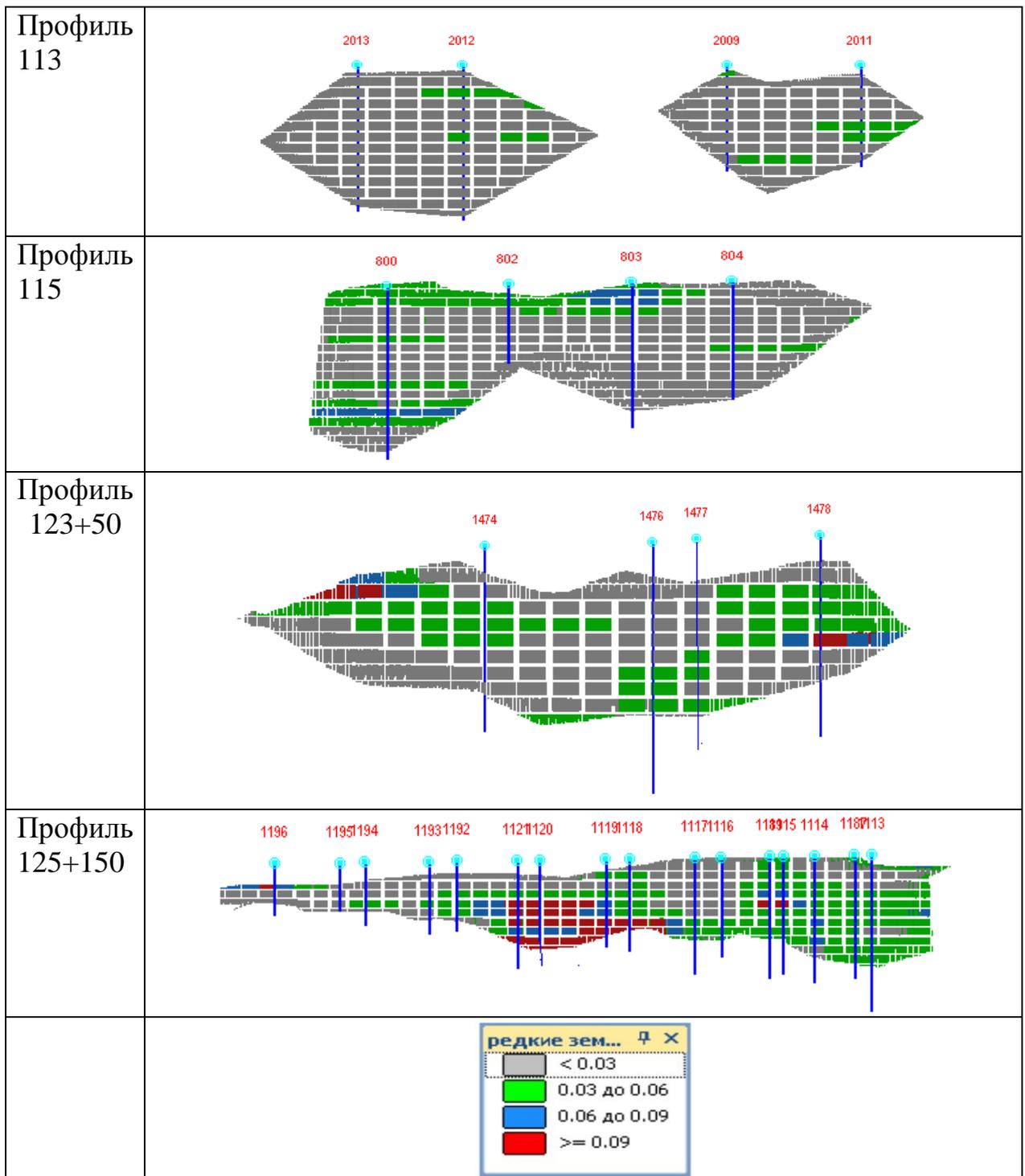
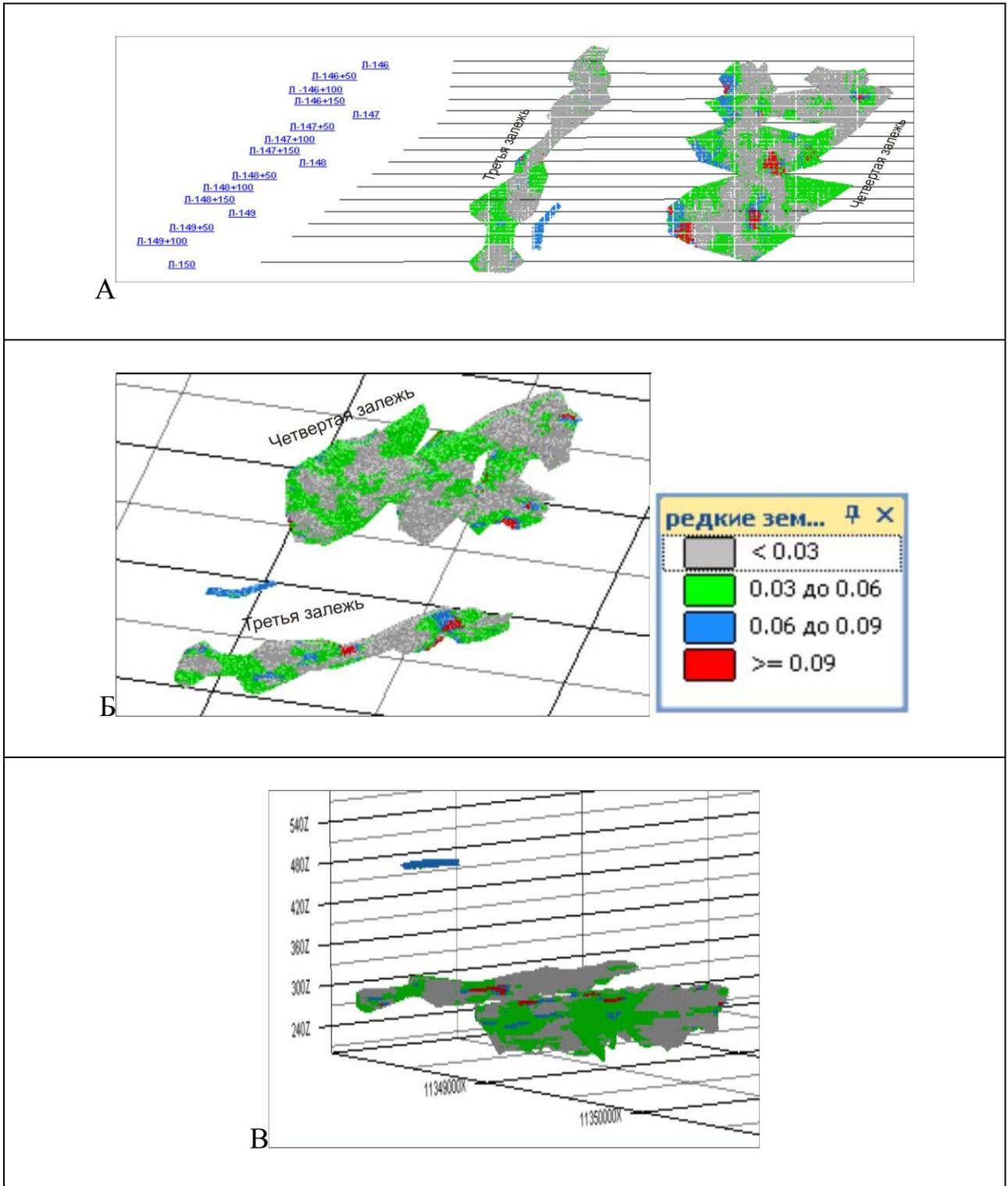


Рисунок 21 - Разрезы по разведочным профилям залежи Первой

Разрезы проведенные по разведочным профилям показывают, в распределении зон с различными содержаниями суммы оксидов иттрия и редких земель существуют определенные закономерности по залежи Первой. Нижние горизонты южной части залежи Первой наиболее перспективнее, так как встречаются зоны с их содержанием от 0,03 до 0,09% и более, чем северная ее часть.



А - вид сверху; Б - вид снизу; В - вид сбоку

Рисунок 22 - Блочная трехмерная модель рудных залежей месторождения Кундыбай с разведочными профилями

Залежь Вторая. В блочной модели Второй залежи наблюдается наиболее равномерное распределение зон с различными содержаниями суммы оксидов иттрия и редких земель в пространстве. Поэтому ее можно считать более выдержанной содержаниям. Мощность рудной залежи оценивается максимально до 40-45м (рисунок А,Б,В. 20).

Залежь Третья. Ее характеризует неравномерное распределение зон суммы оксидов иттрия и редких земель (рисунок А,Б,В. 22). Зоны с высокими их содержаниями (от 0,06 до 0,09% и более) распределены как в средних, так и нижних горизонтах рудной залежи. В верхних горизонтах рудной залежи широко распространены зоны содержанием суммы оксидов иттрия и редких земель ниже бортового (меньше 0,03%). Следует отметить, что в Третьей рудной залежи наблюдается увеличение содержаний суммы оксидов иттрия и редких земель с глубиной. Мощность рудной залежи по блочной ее модели оценивается в пределах 40-45 м (рисунок В. 22).

Залежь Четвертая. Четвертая залежь наиболее изменчивая по содержанию редких земель. Зоны с высокими содержаниями суммы оксидов иттрия и редких земель (от 0,06 до 0,09% и более) в основном распространены в верхних горизонтах рудной залежи, хотя встречаются они и в нижних горизонтах в ограниченном виде. Поэтому определенной закономерности по изменению содержаний суммы оксидов иттрия и редких земель здесь не наблюдается (рисунок А,Б,В. 22).

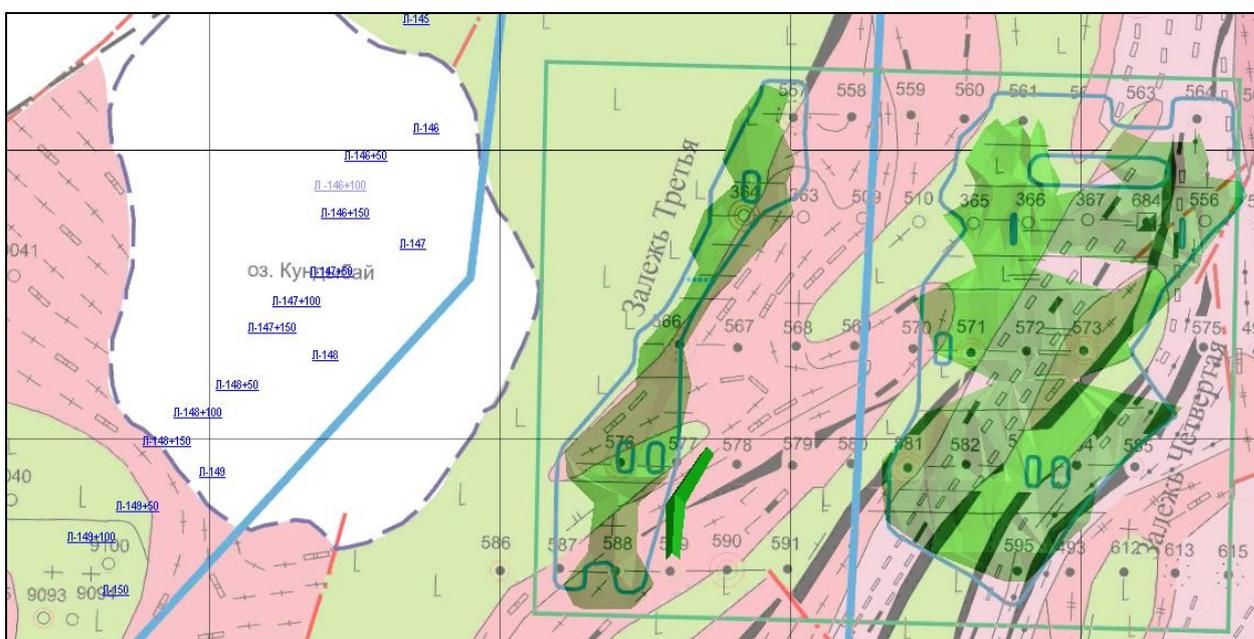


Рисунок 23 - Геологическая карта района залежей Третьей и Четвертой

Мощность рудной залежи по блочной модели оценивается в пределах до 70м.

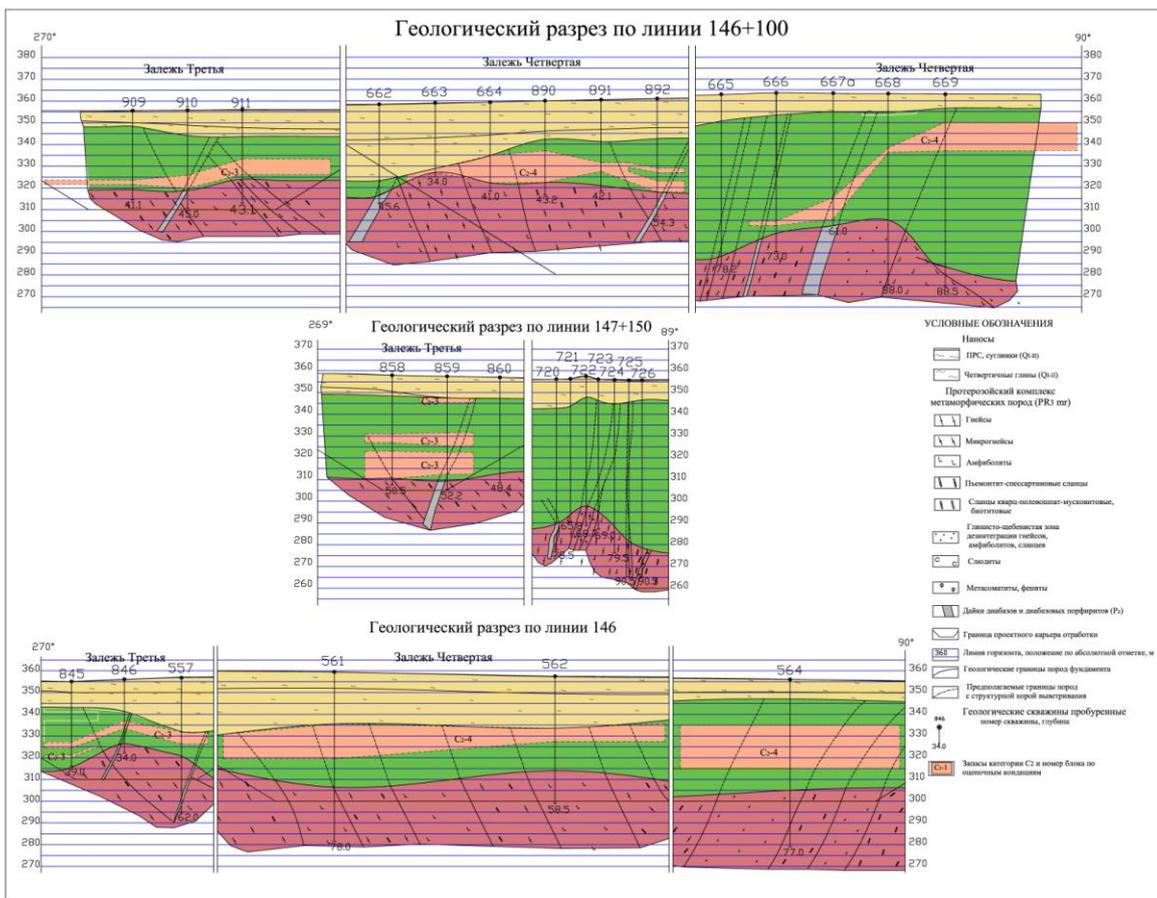
В целом, по месторождению Кундыбай на основе блочной модели можно сделать следующие заключения:

- определенной явной закономерности по изменению содержаний суммы оксидов иттрия и редких земель по горизонтали и по вертикали в пределах месторождения не наблюдается. Тем не менее, в залежах Первая (северная часть) и Третья прослеживается изменение содержаний суммы оксидов иттрия и редких земель с глубиной, а именно в северной части Первой залежи – наблюдается уменьшение, а в пределах Третьей залежи – увеличение. Видимо это связано с литологическими особенностями строения месторождения, где в северной части Первой рудной залежи развиты коры выветривания сланцев (60,2%) и гнейсов (28,4%), а в районе Третьей рудной залежи развиты коры выветривания гнейсов (41%) и амфиболитов(44%) (рисунки 23, А,Б. 24). Если учесть их расположения в стратиграфической колонке и среднее содержание оксидов РЗМ в первичных породах, которое возрастает от амфиболитов (средний горизонт) к гнейсам (нижний горизонт) и сланцам (верхний горизонт) следующим образом: амфиболиты - 224 г/т, гнейсы 244 г/т, сланцы - 372 г/т, то установленные изменения содержаний оксидов РЗМ в вышеперечисленных рудных залежах является закономерной (данные Шайдулина Ф. Ф, 2011г.);

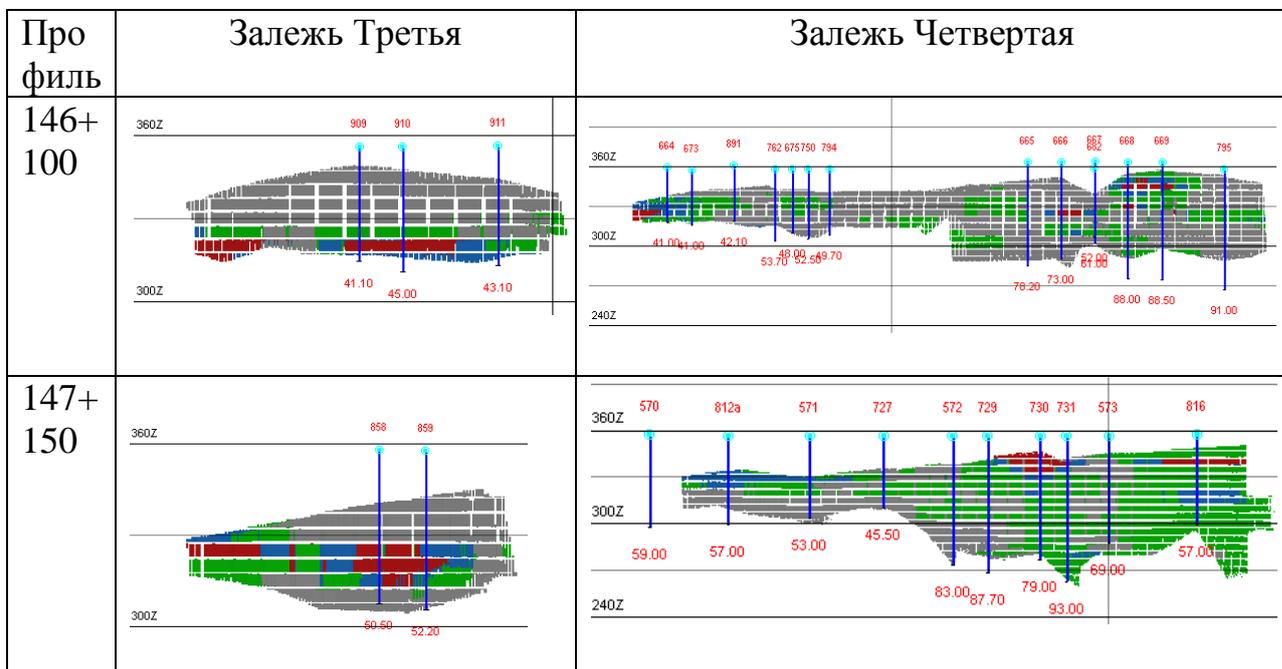
- выдержанность Второй залежи по содержаниям оксидов РЗМ также можно объяснить с широким развитием коры амфиболитов в ее пределах (88,9%), поэтому по блочной модели данной рудной залежи наблюдается наиболее равномерное распределение содержаний оксидов РЗМ;

- в пределах южной части Первой и Четвертой залежей гнейсы и коры по ним составляют 77,4% и 66,7% соответственно, кроме того, в пределах Четвертой залежи развита кора выветривания сланцев (19,7%). Эти особенности литологического строения месторождения приводят к тому, что в разрезе Четвертой залежи зоны с наиболее высокими содержаниями оксидов иттрия и редких земель чаще встречаются в верхних горизонтах, чем в нижних (рисунки 23, А,Б. 24). Широкое развитие коры выветривания гнейсов в пределах южной части Первой залежи приведет к равномерному распределению содержаний оксидов РЗМ и по разрезу и по простиранию;

- геостатический анализ для построения блочной модели месторождения показывает, что среднее содержание суммы оксидов иттрия и редких земель по месторождению Кундыбай составляет 344,3 г/т, когда его значение по геологическим данным определено в пределах 350г/т (таблица 1, рисунок 25).



А



Б

Рисунок 24 - Геологические разрезы (А) и изображение 2D срезов блочной модели (Б) месторождения Кундыбай

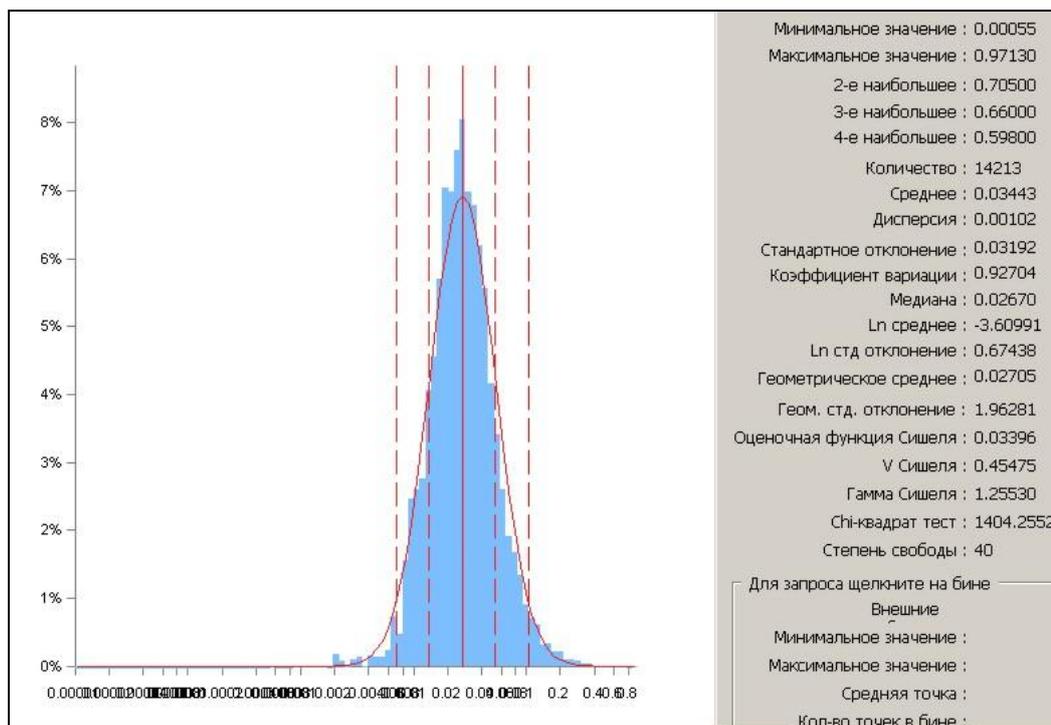


Рисунок 25 - Статистические данные содержания оксида иттрия - J_2O_3 и редких земель

3.4 Участок Талайрык

3.4.1 Геолого-геофизическая изученность рудного района

Геологическая изученность. Первые сведения о геологическом строении Улутау относятся к концу XVIII в (Рычков 1771, Георги 1800г.) (рисунок 26).

П.В.Матвеев и А.П. Нифонтов 1916г. составили геологическую карту м-ба 1:840000 бассейна р.Каратургай. Они выделили четвертичные, третичные, каменноугольные и девонские отложения, а также метаморфические и интрузивные породы.

И.С. Яговкиным (1926-1935) в результате геологосъемочных работ (1:420000) метаморфическая толща была отнесена к допалеозою и разделена на четыре группы.

В 1935-36гг. широкие исследования в Улутау проводил К.И.Сатпаев, разделивший докембрийские образования на три толщи. Общие положения, разработанные им остались верными и на сегодняшний день.

С 1936 по 1940 гг. продолжались работы ЦККЭ АнСССР под руководством Н.С.Шатского. В это время Кузнецовым были исследованы докембрийские толщи в Северном Улутау. В конце 30-40-х годов древние метаморфические комплексы Улутау изучались Л.И.Боровиковым, В.Ф.Беспаловым (1938), Л.В. Волиным (1943-44гг). Более подробно история исследований этого периода изложена в работах Л.И.Филатовой (1956) и др.

В 1945-52гг. в Северном и Центральном Казахстане проводились съемочные и поисковые работы МГРИ под руководством А.А.Богданова

Результаты работ обобщены в докторской диссертации И.Ф.Трусовой и ряде статей в которых предложена единая стратиграфическая схема метаморфического комплекса докембрия Юго-Западного Казахстана.

В 1961 году вышла в свет сводная работа коллектива работников ВСЕГЕИ «Геологическое строение Центрального и Южного Казахстана».

В 1960-61гг. по заданию СКТГУ МГРИ проводил тематические работы в районе С.Улутау. Метаморфический комплекс был подразделен на 5 крупных серий. С 1960г. параллельно с исследованиями МГРИ, МГУ, ЦКГУ проводились среднемасштабные геологические съемки, охватившие всю территорию Улутау.

В 1949г. были начаты крупные работы по геологическому картированию в м-бе 1:200000 геологами МГУ, под руководством А.А.Богданова составлены геологические карты с уточненной стратиграфией докембрия, палеозоя, мезокайнозоя.

Итоговой работой многолетних геологических исследований явилось издание государственной геологической карты масштаба 1:200000 по листам М-42-ХІІІ (Минервин 1963), М-42-ХІХ (Зайцев, 1959). Изверженные породы изучались московскими геологами И.Ф.Трусовой, И.И.Вишневской и др.

В 1964-67гг. изучается Соуктаьский гранито-гнейсовый массив (И.И.Вишневская и др.). В 1967-69гг.Сабасалдытургайский гранитоидный массив (Н.И.Аршавская и др.).

В процессе этих исследований появились многочисленные печатные работы по проблемам стратиграфии и магматизма Северного Улутау.

В 1969-71гг. О.Б.Бейсеев занимался изучением ультраосновных пород.

С 1972 по 1977гг. на листах М-42-ХІІІ и ХІХ была проведена групповая геологическая съемка м-ба 1:50000 (Е.А.Севастьянов, А.К.Рабынин, И.И.Черепаня и др), в результате которой были составлены геологические карты м-ба 1:50000 и выявлен ряд рудопроявлений золота, олова, полиметаллов и др.

В 1972 г. проводились поисковые работы на Талайрыкском участке в крайней южной части Соуктаьского массива. Выявлены грейзеновые зоны с повышенным содержанием олова (Коньсбаев Е.К. и др.).

В 1974г. изучается Сабасалды-Тургайский массив, выделены его фазы и определены перспективность его на редкометальное оруденение (Ксенофонов, Савич и др.).

В 1986г. проводятся поиски на Талайрыкском участке. Выявлены протяженные грейзеновые зоны, штокверковидное тело, зоны минерализации с промышленным содержанием олова, определена перспективная площадь для проведения поисков месторождений олова, как в коренных породах и в россыпях (Пыльнов Н.П., Чудин С.С.).

В 1987-91гг. проведены поисковые работы на Талайрыкском участке м-ба 1:10000 на площади 28 км². Выявлены промышленные залежи иттрия и редких земель и полезные сопутствующие компоненты.

В 1991-1994гг. проведены поисково-оценочные работы в пределах участка Талайрыкский (АО «Тургайская геологоразведочная экспедиция»). Поисково-оценочные работы проводились с целью установления размеров рудной зоны в плане и на глубину, морфологии и условий залегания рудных тел, определения качественной характеристики руд, изучения гидрогеологических условий. Оконтурено иттрий-редкоземельное рудное тело по бортовому содержанию иттрия 100г/т. По данному бортовому содержанию мощность рудной залежи колеблется по отдельным линиям от 5,88м до 58,6м, составляя в среднем 19,46м, мощность вскрыши средняя 7,38м. Среднее содержание оксида иттрия по залежи составляет 169г/т, оксидов суммы редкоземельных элементов - 617г/т [75].

Геофизическая изученность. Основным толчком к массовому применению геофизических методов в данном районе послужило открытие Амангельдинского месторождения бокситов. Работы носили опытно-

методический характер, была выработана методика и комплекс методов с целью поисков бокситов.

Начиная с 1957г. в связи с резким уменьшением эффективности работ на бокситы и отсутствием (или кажущимся отсутствием) перспективных площадей, центр тяжести работ перемещается на поиски цветных и редких металлов. Основным методом становится металлометрия. Детальные же участки отбраковываются комплексом методов (металлометрия магниторазведка, электроразведка СЭП, СГ, ВП, СГ) с почти повсеместной проверкой ореолов рассеяния горными работами (конт. 216, 198). Заслуживающих внимания месторождений свинца выявлено не было.

По данным металлометрической съемки (конт. 198), проведенной в пределах контакта гранито-гнейсов с вмещающими породами, был выявлен ряд ореолов рассеяния олова.

В 1969-1971г.г. КГГЭ проведены аэромагнитная съемка (конт. 212) и наземные геофизические работы (конт. 220) с целью поисков железных руд. В результате проведенных работ выделен ряд аномалий, перспективных на гематит-магнетитовое оруденение, построена схематическая геологическая карта.

В 1969-1974гг. проведены работы с целью поисков пресных подземных вод (конт. 209), в помощь геокартированию (конт. 210, 264) и поисков спецсырья (конт.267)

По результатам работ произведено расчленение пород кристаллического фундамента, оконтурены границы интрузивных массивов выявлены зоны сульфидной минерализации.

Одновременно с геолого-съемочными работами ТГРЭ в 1971- 1978гг. велись поиски золота, полиметаллов. В пределах детальных участков были проведены профильные работы методами гравиразведки, магниторазведки и электроразведки ВП СГ (конт. 306). В результате этих работ были выделены точки минерализации и ореолы рассеяния меди и полиметаллов.

В 1979-82гг. проведена электроразведка ВП СГ масштаба 1:25000 (конт.338) с целью поисков меди колчеданного типа. По результатам проведенных работ установлена связь повышенного поля ВП с зонами сульфидной минерализации.

В 1981-84гг. КГРЭ проведены общие поиски полиметаллических руд на Арганатинском I участке методом ВП СГ. По результатам проведенных работ установлено, что по западному экзоконтакту Сабасалды-Тургайского гранитоидного массива четко прослеживается Маятас-Сабинская зона минерализации. В районе аномалий ВП обнаружен комплексный ореол рассеяния свинца, цинка с содержанием до 0,5-1%.

В 1988-89 г. КГГЭ провела на Талайрыкском участке магниторазведку м-ба 1:5000 и гравиразведку м-ба 1:10000 по сети 50x10 и 200x50м. Соответственно площадью 35км² и 51км². Предположительно выделяется перспективная площадь редкоземельного оруденения [76].

3.4.2 Краткая геологическая характеристика рудного района

Стратиграфия. В геологическом строении района работ принимают участие следующие образования: докембрийский комплекс пород, мезозойские образования, палеогеновые и четвертичные отложения, а также развит комплекс изверженных пород (рисунок 27) [75, с. 25].

Докембрийские образования

Бектурганская серия

Наиболее метаморфизованные кристаллические породы Северного Улутау отнесены к бектурганской серии, датируемой условно нижним-средним протерозоем. Бектурганская серия подразделяется на две свиты: талайрыкскую и савинскую.

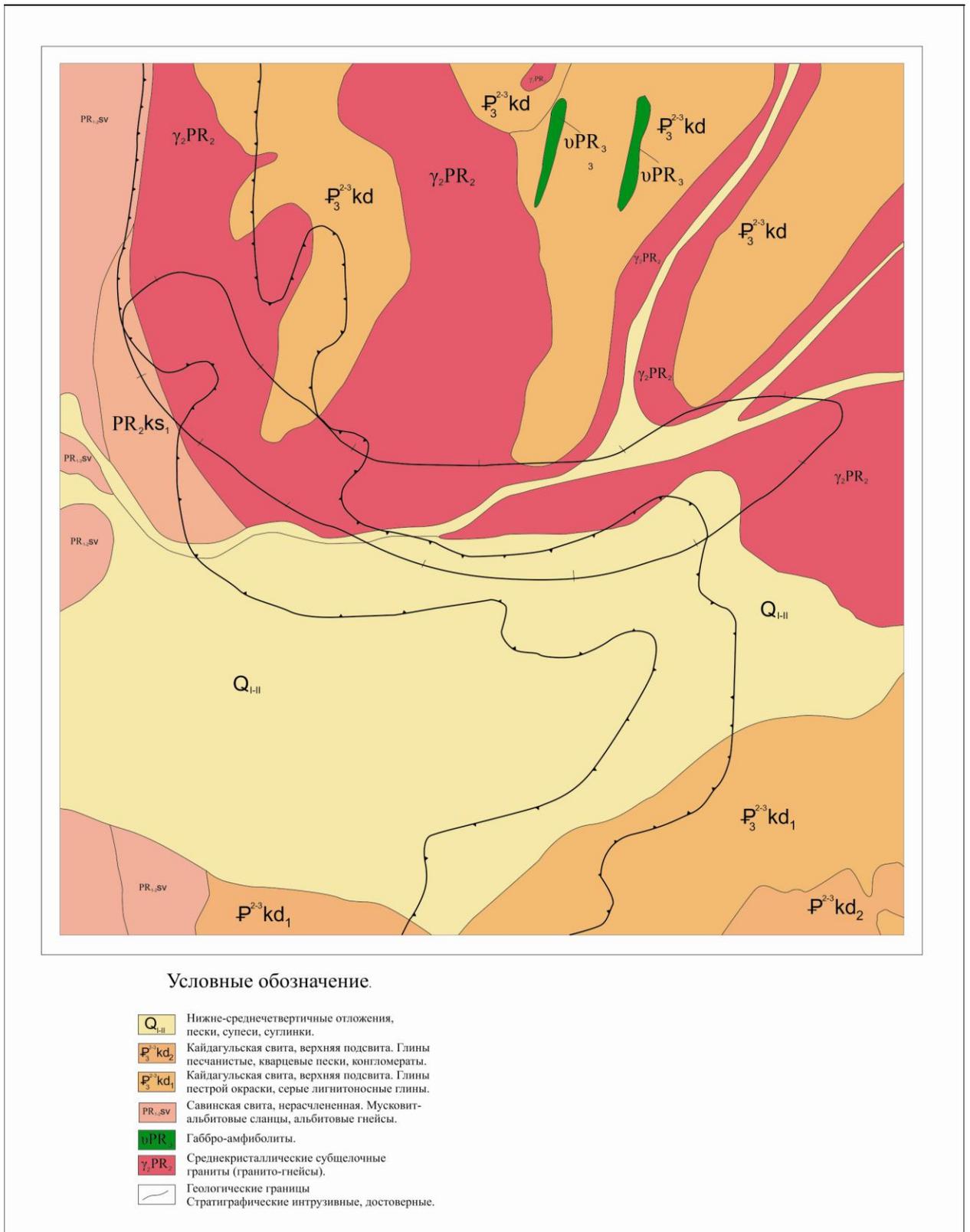
Талайрыкская свита

Породами Талайрыкской свиты сложена сводовая часть Улутауского антиклинория, причем в районе работ она разделена Сабасалды-Тургайским гранитоидным массивом на две полосы: западную и восточную. В составе талайрыкской свиты выделены три подсвиты: нижняя, средняя и верхняя.

Нижняя подсвита ($PR_{1-2}tl_1$) представлена слюдяными гнейсами, двуслюдяно-плагиоклазовыми гнейсовидными сланцами, мощными (100-300м) пачками амфиболитов, гранатовых амфиболитов, плагиоклаз-амфиболитовых сланцев. Ими выполнены ядра крупных и мелких антиклинальных складок, имеющих преимущественно меридиональное или субмеридиональное направление осей, крутые углы падения на крыльях порядка 70-85°. Мощность подсвиты 600-800м.

Средняя подсвита ($PR_{1-2}tl_2$) сложена слудисто-плагиоклазовыми гнейсами, мусковито-альбитовыми сланцами, маломощными пачками альбито-амфиболитовых с эпидотом, альбит-эпидот-актинолитовых сланцев с прослоями кварцитов, мусковито-кварцитовых сланцев, углеродистосодержащие мусковито-плагиоклазовые, мусковито-хлорито-плагиоклазовые гнейсы, сланцы. Мощность подсвиты – 600м [77].

Верхняя подсвита - ($PR_{1-2}tl_3$). Это углеродисто-альбитовые углеродисто-мусковит-кварц-альбитовые, мусковит-хлорит-альбитовые, углеродисто-мусковит-карбонатные сланцы, содержащие углеродистое вещество до 30% объема породы, линзы темносерых, полосчатых и светло-серых мраморов с редкими единичными горизонтами амфиболитов и их сланцев. Мощность – 400м. Породы талайрыкской свиты откартированы в западной и восточной частях экзоконтакта Сабасалдытургайского массива в виде узких, дугообразных полос значительной протяженности.



**Рисунок 27 - Геологическая карта Талайрыкского участка
Масштаб 1:10 000**

Савинская свита
Она состоит из порфиробластовых слюдяно-плагиоклазовых, слюдяных, углеродисто-слюдяно-альбитовых сланцев, альбитовых гнейсов с

подчиненными горизонтами альбито-хлоритовых и хлорито-альбитовых сланцев широко развитых на западном крыле северной части Улутауского антиклинория. Породы с несогласием ложатся на талайрыкскую свиту, смяты в сложные изоклинальные складки с углом падения на крыльях порядка 60-85° [78].

Среди отложений савинской свиты по преобладанию тех или иных литологических разностей выделяются две подсвиты: нижняя и верхняя.

Нижняя подсвита ($PR_{1-2}cv_1$). В разрезе преобладают углеродисто-слюдяно-альбитовые с горизонтами альбито-хлоритовых и хлорито-альбитовых и сланцев двуслюдяно-альбитовые, альбитовые гнейсы с незначительной примесью углеродистого вещества. Общая мощность подсвиты 700 -750 м.

Верхняя подсвита ($PR_{1-2}cv_2$) сложена мусковито-альбитовый, мусковито-кварцево-альбитовыми, мусковито-кварцитовыми, мусковито-хлорито-альбитовыми, углеродисто-мусковито-альбитовыми порфиробластовыми сланцами с горизонтами альбито-эпидото-актинолитовых, карбонатизированных альбито-хлоритовых сланцев, мощностью 0,2-5м. Мощность подсвиты - 900м.

Аралбайская серия

Под аралбайской серией понимается эффузивно-осадочная толща занимающая место между бектурганской и карсакпайской сериями и подразделяющаяся на две свиты: карасулейменскую и дюсюнскую.

Карасулейменская свита

По составу слагающих разрез пород подразделяется на две подсвиты: нижнюю и верхнюю.

Нижняя подсвита ($PR_{1-2}kz$) представлена амфибол-эпидот-хлорит-биотит-кварц-альбитовыми, эпидот-кварц-альбитовыми, мусковит-хлорит-кварц-альбитовыми сланцами, развивающимися по туффитам и вулканомиктам андезит-базальтового состава. Мощность -500м.

Верхняя подсвита ($PR_{1-2}kz_2$) слагается мусковит-кварц- полевошпатовыми, мусковит-хлорит-кварц-альбитовыми, серицит-хлорит-эпидот-кварц-альбитовыми порфириоидами развивающимися по эффузивам липарит-дацит-андезитового состава. Мощность-1500м

Дюсюнская свита

По литологическому составу свита подразделяется на две подсвиты: нижнюю и верхнюю.

Нижняя подсвита ($PR_{1-2}ds_1$) сложена, в основном, мусковит-альбит-кварцевыми, мусковит-кварцевыми, хлорит-биотит-кварц-албитовыми, графитосодержащими сланцами с прослоями порфириоидов и мраморов. Мощность подсвиты-800м.

Верхняя подсвита ($PR_{1-2}ds_2$) представлена мусковит-кварц-албитовыми, мусковит-кварцевыми, эпидот-хлорит-албитовыми сланцами, чередующимися с многочисленными прослоями порфириоидов дацитового состава, редко, с прослоями графитсодержащих сланцев и кварцитов. Мощность – 1200 м.

С нижележащими породами аралбайская серия контактирует по серии глубоких, может быть даже глубинных разломов в их полном понимании, заложение которых и обусловило начало осадконакопления серии. С перекрывающими отложениями карсакпайской серии в Северном Улутау, контакт тектонический.

Несмотря на различие состава и степень метаморфизма, породы аралбайской серии близки между собой снизу доверху. Это единый эффузивно-осадочный комплекс, в котором похожие парагенезисы пород можно встретить в любой части разреза, что и послужило основанием для выделения серии в этом объеме.

Карсакпайская серия

Породы Карсакпайской серии в Северном Улутау выделены в западном крыле антиклинория, где они слагают выход шириной до 5 и длиной до 18 км простирающийся на северо-восток – 30°. Карсакпайская серия подразделяется на четыре свиты (снизу вверх):

1. Жуманская (PR_{2jm}) – мусковит-хлорит-кварцит-альбитовые сланцы. Мощность – 650 м.

2. Жаксынская свита (PR_{2jak}) – диабазовые порфириты, порфиритоиды, зеленые сланцы. Мощность – 500 м.

3. Иламанская свита (PR_{2il}) – мусковит-кварцевые, мусковит-альбит-кварцевые, графитистые сланцы, кварциты, железистые кварциты, мрамора. Мощность – 500 м.

4. Улькенская свита (PR_{2ul}) – порфиритоиды, зеленые сланцы. Мощность – 600 м.

Вышележащие свиты перекрывают карсакпайскую серию с резким угловым несогласием.

Унгулинская свита

Породы унгулинской свиты условно подразделяются на две подсвиты: нижнюю – кварцитовую и верхнюю – порфиroidную.

Кварцитовая подсвита (PR_{3³un₁}) с несогласием залегает на породах верхних свит карсакпайской серии и представлена брекчиевидными и конгломератовидными кварцитами, серицитовыми рассланцованными кварцитами окварцованными мраморами. Мощность – 300-400 м.

Порфиroidная подсвита (PR_{3³un₂}) согласно залегает на породах кварцитовой подсвиты и сложена порфиroidами липаритового состава, от массивных разностей с четко выраженными вулканогенными структурами до существенно кварцевый бластокластических сланцев. Мощность – 400-500 м.

Жаксыкаиндинская свита (PR_{3³jk})

Представлена плагиоклазовыми, роговообманковыми, базальтовыми диабазовыми порфиритами, диабазами, агломератовыми лавами, туфами основного состава. Мощность – 1500-2000 м [79].

Мезозойские коры выветривания. В современное время коры выветривания занимают 2/3 площади покрова пород фундамента. Коры выветривания развиты на всех разновидностях пород исследуемой площади.

Средняя мощность площадных кор выветривания составляет 25м. В линейных зонах мощности кор исчисляются до 100 и более метров.

В разрезе кор выветривания основных типов пород района выделяется четыре зоны:

1. Зона дезинтеграции. Материнские породы трещиноватые, рассыпчатые, ожелезненные, слабо окремненные и слабо измененные.

2. Зона структурных глин сложного состава пестрой окраски. В этой зоне полевой шпат, амфиболы, пироксены разрушаются и замещаются глинистыми водными минералами, слюда гидратируется, кварц корродирован.

3. Зона белых каолинитов. Встречаются только по корам выветривания гранито-гнейсов. Состав: каолинит, кварц.

4. Зона охристых каолинитов. В этой зоне преобладают минералы: каолинит, кварц, гидроокислы железа [80].

Кайнозойская группа. Палеогеновые отложения района представлены континентальным разрезом верхнего олигоцена (кайдагульская свита).

Отложения кайдагульской свиты ($P_3^{2-3}kd$) представлены пестроокрашенным и песчаниками, существенно кварцевого состава на железистом или глинистом цементе.

Кайдагульская свита расчленена на две подсвиты - нижнюю и верхнюю. Граница между подсвитами проводится по кровле лигнитовых глин и лигнитов, а там, где их нет приходится ориентироваться на мощность нижней подсвиты, на цвет отложений, на гипсометрию. Отличительной особенностью отложений верхней подсвиты является светло-серый цвет, песчаность отложений. Для свиты характерны прослойки песков, гравия, переходящие у коренных пород к конгломератам, состоящим из кварцевого, кварцитового материала. Термическим анализом устанавливается монтмориллонит-каолинитовый состав глин кайдагульских отложений. Общая мощность 30-35м [75,с. 29].

В неогеновых отложениях района работ выделены две свиты: терсекская ($N_1^{1-2}trs$), турме ($N_1^{1-2}trm$) и плиоцен-плейстоценовые отложения ($N_2^{2-3}Q$).

Свиты представлены, первая-пестроцветными глинами, вторая преимущественно буровато-зелеными, серо-зелеными, мощность отложений соответственно 10-12м.

Средний + верхний плиоцен - нижний плейстоцен включают в себе различные осадки - от галечников до суглинков и глин. Выходы этих отложений занимают обширные водораздельные пространства крупных рек и их бассейнов, палеопонижения. Песчано-гравийно-галечный слой перекрывает большую часть изучаемого Соуктальского массива. Мощность отложений составляет 20-25м.

Четвертичные отложения. Отложения четвертичного времени на исследуемой территории пользуются широким развитием. Ими сложены низкие водораздельные пространства у слияния рек, русловая и склоновая части речных бассейнов. Все четвертичные отложения района подчиняются единому пространственному плану.

На основе геоморфологических построений, изучения характера отложений по керну скважин картировочного бурения, маршрутных наблюдений (ГГС Севастьянов Е.А и др. 1971-77гг.) четвертичные отложения подразделены:

а) пролювиально-делювиальные отложения нижнего плейстоцена (Q_{I-II}) мощностью около 20м.

б) аллювиальные отложения среднего плейстоцена, мощностью около 20 м (Q_{II-III}).

в) аллювиальные и делювиальные отложения верхнего плейстоцена, мощностью около 8м (Q_{III}).

г) аллювиальные и озерные отложения голоцена средней мощностью около 6м (Q_{IV}).

д) нерасчлененные аллювиально-делювиальные образованиями [75,с. 30;76,с. 62].

Интрузивный комплекс. В геологическом строении района принимают участие значительное количество тел изверженных пород различного состава и возраста. Выходы их на поверхность составляют около 75% территории района работ.

По геологическим данным выделяются следующие комплексы:

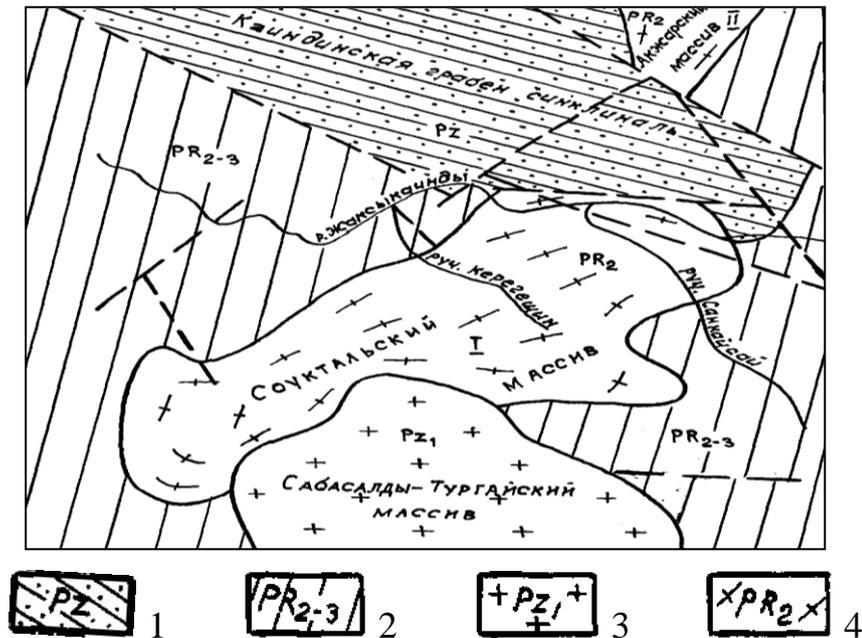
1. Средне протерозойский комплекс гранитов (гранито-гнейсы)
2. Улутауский комплекс основных и ультраосновных пород поздневерхнепротерозойского раннекембрийского возраста.
3. Позднеордовиковский - раннесилурийский комплекс гранодиоритов-гранитов.

В тесной связи со становлением каледонских гранитоидов находятся дайки кислого состава [81].

Первый комплекс представлен Соуктальским массивом гранито-гнейсов, второй - редкими, мелкими телами основных и ультраосновных пород, третий – Сабасалды Тургайским массивом гранитоидов.

а) *Соуктальский массив гранито-гнейсов ($\gamma_2 PR_2$)*

Соуктальский гранито-гнейсовый докембрийский комплекс находится в Улутауской структурно-фациальной зоне, где представлен четырьмя крупными массивами (с севера на юг) Акжарским, Соуктальским, Майкинским и Артаашинским, обнажающимися вдоль осевой зоны Улутауского антиклинория среди кристаллических сланцев и гнейсов докембрия, имеют овальную форму, вытянутую в меридиональном направлении (рисунок 28).



1 – палеозойские терригенно-вулканогенно-карбонатные образования, выполняющие Каиндинскую грабен-синклиналь; 2 – средне-верхне протерозойский осадочно-вулканогенный метаморфический комплекс; 3 – гранит-гранодиоритовый комплекс Сабасалды-Тургайского массива; 4 – гранитогнейсовый комплекс Соуктальского (I) и Ажарского (II) массивов

Рисунок 28 - Схема структурного положения Соуктальского массива гнейсо-гранитов в Северном Улутау.
Масштаб 1:200 000

Соуктальский массив расположен в северной осевой части Арганатинского поднятия имеющий вытянутую подкосообразную форму площадью около 200км².

Район Соуктальского массива осложнен многочисленными складками различных порядков, имеющими субмеридиональное простирание [82].

Многочисленные разрывные нарушения по времени образования делятся на две группы: нарушения меридионального и субмеридионального направления, заложившиеся в календонское время и пересекающие их, разрывы северо-западного простирания, возникающие в результате герцинского тектогенеза.

Контакты массива с вмещающими породами имеют различный характер. Северо-западный, западный и юго-западный характеризуются пологим падением, о чем свидетельствует широкий ореол вторичных изменений (окварцевания, ороговикования), данные по бурению и геофизическим исследованиям. Падение восточного контакта крутое.

Состав гранитоидов Соукталяского массива пестрый. В основном, это крупнозернистые гранито-гнейсы слагающие большую часть его площади, которые окружены ореолом полосчатых микроклиновых гнейсов.

Наблюдается ряд небольших тел мелкозернистых гранито-гнейсов, слагающих гору Соуктал и безымянные сопки к югу от неё. Среди пород выделяются ороговикованные гранито-гнейсы, грейзенизированные альбитизированные рассланцованные и катаклазированные разности [83].

б) Сабасалды-Тургайский массив. Массив в современном эрозионном срезе представляет тело площадью 303 км², вытянутое в субмеридиональном направлении. На западе и востоке массив обрамлен амфиболитами с горизонтами карбонатных толщ, гнейсами и полевошпато-сланцевыми сланцами талайрыкской свиты.

На юге и юго-западе вмещающими породами являются сланцы углисто-кварцитового и углисто-хлоритового состава с линзами карбонатов. В северной части интрузия прорывает гранито-гнейсы Соукталяского массива протерозойского возраста.

В структурном отношении рассматриваемый массив приурочен к осевой зоне Улутауского антиклинория, располагаясь в ядре Аргантинского поднятия. Время формирования интрузии определено по биотиту К-Аг методом (Трусова, 1966) согласно которого возраст первой интрузивной фазы составляет 390±16 млн. лет, что по геохронологической шкале соответствует границе силура-девона.

Кровля Сабасалды-Тургайского массива на севере и северо-западе залегает под кристаллическими сланцами и гранито-гнейсами на небольшой глубине-это подтверждается геофизическими данными магниторазведки (Яшин, 1964г.).

Сабасалды-Тургайская интрузия осложнена серией разрывных нарушений. Главные из них имеют северо-западное (СЗ 320-340°) и северо-восточное (СВ - 10-20°) простирание, при протяженности 5-10км. В основном, разрывы фиксируются зонами 20-50м брекчированных нацело окварцованных и эпидотизированных пород [75,с. 36].

Тектоника. Район работ расположен в северной осевой части Улутауского мегантиклинория. Наиболее крупными структурами в докембрии являются Улутайский антиклинорий и Карсакпайский синклинорий Первый является наиболее крупной сложнопостроенной структурой района работ.

В каледонской эпохе обширная территория Улутау развивалась в геоантиклинальном режиме. Осадконакопление здесь не происходило, но зато широко проявился кислый гранитоидный магматизм, приведший к формированию ряда крупных массивов.

В герцинскую эпоху обширное каледонское поднятие распалось на ряд мелких положительных и отрицательных структур.

Отложения альпийской эпохи залегают практически горизонтально со слабым уклоном к западу, в сторону Тургайского прогиба. Движения ее имели платформенный характер и не привели к существенной перестройке образованных ранее структур [84].

В целом район представляет собой эпигерцинскую платформу в строении которой выделяются два структурных комплекса: складчатый фундамент и платформенный чехол.

Складчатый фундамент представлен к различной степени метаморфизованными и смятыми в складки породами докембрия.

В строении складчатого фундамента по характеру формаций, степени метаморфизма и дислоцированности пород, характеру тектонического режима выделяются два структурных этажа: нижний и верхний.

Нижний структурный этаж сформирован в докембрийско-каледонский этап тектогенеза и соответствует геосинклинальной стадии развития региона.

Верхний структурный этаж, сложенный вулканогенно-терригенной формацией, сформирован в процессе герцинского этапа тектогенеза и соответствует парагеоантиклинальной стадии развития региона. Граница между герцинскими структурами, байкалидами и каледонидами повсеместно выражена перерывом в осадкообразовании, угловыми и азимутальными несогласиями.

Платформенный чехол сложен континентальными отложениями мезозоя и кайнозоя. Эти отложения не дислоцированы и лежат практически горизонтально.

В составе платформенного чехла выделяются отложения сложенные древней корой выветривания и песчано-глинистыми породами палеогена.

Дизъюнктивные нарушения, распространенные в районе, подразделяются на три группы:

1. Это крупные северо-восточные, реже северо-западные разрывы регионального типа заложившиеся в период каледонского тектогенеза. Предельные разрывы сопровождаются интенсивным рассланцеванием пород.

2. Разрывы заложившиеся в герцинский тектонический этап. Здесь выделяются поперечные и диагональные разломы.

3. Мелкие, различно ориентированные, нарушения, большая часть которых имеет характер оперяющих разломов, заложившиеся как в каледонский, так и в герцинский тектонические этапы [85].

Метаморфизм. Рассматриваемый район сложен в различной степени метаморфизованными осадочно-вулканогенными толщами протерозойского (9) возраста, прорванными аллохтонными гранитоидами Соуктадьского и Сабасалдинского комплекса. Для района установлено три геологических типа метаморфизма. Региональный зональный метаморфизм, рассматриваемый как плутонометаморфизм сиалического профиля уровня биотит-хлоритовой (для образований бектурганской и аралбайской серий) и мусковит-хлоритовой (для пород карсакпайской и улутайской серий) субфаций зеленых сланцев контактовый метаморфизм пород бектурганской и аралбайской серий в ближнем обрамлении массивов гранитоидов; приразломный метаморфизм в пределах зоны смятия и рассланцевания, охватывающей большую часть площади исследований [75, с. 40].

Явления приразломного метаморфизма генетически обусловленного процессами формирования собственно структуры зоны смятия и в целом плутонометаморфического комплекса фиксируются в пределах зоны смятия и в ореоле развития осадочно-вулканогенных образований бектурганской, аралбайской и карсакпайской серий, и гранитоидов Соуктальского комплекса (западная часть Соуктальского массива). Процессами прогрессивного этапа приразломного метаморфизма в ореоле развития образований бектурганской и аралбайской серий порфиритоиды талайрыкской и карасулейменской свит, преобразованы в зеленые сланцы, терригенно-осадочные разности савинской и дюсюнской свит-в мусковит-кварцевые "зеленые" и "кристаллические" сланцы, (бластомилониты), а гранитоиды Соуктальского и в меньшей мере Сабасалдинского комплексов в гнейсо-граниты. Изменения прогрессивного этапа фиксируются во всей отсортированной части зоны смятия, имея линейно-площадное распространение.

Явления регрессивного этапа приразломного метаморфизма в целом также имеют линейно-площадное распространение; по направленности и характеру изменений (последовательная смена ассоциаций ранней щелочной стадии ассоциациями стадий кислотного выщелачивания и поздней щелочной) идентичны терригенно-осадочным и вулканогенным образованиям бектурганской и аралбайской серий и гранитоидах Соуктальского массива в пределах единой зоны смятия. Ранняя щелочная стадия регрессивного этапа приразломного метаморфизма фиксируется в интенсивной альбитизации пород; конечным продуктом ранней щелочной стадии и в метаморфитах, и в гранитоидах являются разности типа альбититов, на 90-95% состоящие из порфиробластов альбита.

Стадия кислотного выщелачивания фиксируется в формировании мусковит-кварцевых ассоциаций, заменяющих существенно альбитовые разности ранней щелочной стадии; конечным продуктом являются разности типа кварцитов и "мусковитовых кварцитов" в метаморфитах по породам бектурганской и аралбайской серий и мусковит-кварцевых метасоматитов (грейзенов) - в гранитоидах Соуктальского массива. Необходимо отметить интенсивное развитие процессов кварцевого прожилкования в ареалах развития ассоциаций кислотного выщелачивания.

Процессы поздней щелочной стадии завершают формирование метасоматической зональности. В метаморфитах бектурганской и аралбайской серий они фиксируются в образовании локальных зон биотитизации, в гранитоидах Соуктальского массива-поздней микроклинизации, а также в образовании серии кварц-микроклиновых и альбит-микроклиновых прожилков в метаморфитах и гранитоидах [75,с. 41;76,с. 68].

3.4.3 Минеральный состав технологической и геохимической проб из коры выветривания участка Талайрык

Результаты *полуколичественного анализа* по двум скважинам, пробуренным по коре выветривания приведены в таблице 9. Здесь также, как и на Кундыбае РЗЭ цериевого ряда преобладают над элементами иттриевого.

Таблица 9 - Среднее содержание редкоземельных элементов по скважинам 104 и 105 (6 проб), в г/т (участок Талайрык)

№ проб	Σ R	Элементы цериевого ряда (легкие)						Элементы иттриевого ряда (тяжелые)								
		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Y	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
104-105	7677	82	104	4167	2000	200	15	29	150	150	300	20	434	0,20	2,3	105
Примечание - в целом по скважинам участка Талайрык ΣTR цериевого ряда – 6515; ΣTR иттриевого ряда – 1162																

Данные минералогического изучения Технологической пробы (ТТ-2) приведены в таблице 10. Количественно в концентрациях разделенных по фракциям установлены более 40 минералов.

Участок Талайрык

Технологическая проба ТТ-2

По данным спектрального анализа в пробе установлено в %:

Y – 0,10; Yb – 0,015; La – 0,10; Ce – 0,10; ΣTR – 0,32.

Таблица 10

Общий вес технологической пробы – 35,0 кг Вес концентрата – 20,15 г. Вес легкой фракции – 13,50 г. Вес тяжелой фракции – 6,50 г.	Вес магнитной фракции - 0,38 г. Вес сил. электромагнит. фр. - 2,53 г. Вес сл. электромагнит. фр.- 0,50 г. Вес немагнитной фракции – 2,45 г.
---	--

Таблица 11 - Минеральный состав пробы по фракциям

Минерал	Количество мин-а в %	Примечание
1	2	3
Класс > 2,00 мм		
Пирит	55 (основная масса)	Частично окисленный, в сростках с хлоритом, кварцем, углистым веществом
Марказит	43	В виде конкреций

Продолжение таблицы 11

1	2	3
Самородная медь	14-15 зн.	Удлиненные, с поверхности окисленные
Самородный свинец	8-9 зн.	Неправильной формы пластинки
Хлорит	зн.	Зеленый
Гидроокислы железа	ред.зн.	
Окислы марганца	ед.зн.	
Флюорит	ред.зн.	
Класс <0,25 мм		
Минералы легкой фракция – 13,50 гр.		
Кварц	60	
Хлорит	~ 20	
Плагиоклазы	~ 5	
Свет. слюда	~3	
Серицит	~1-2	
Минералы тяжелой фракции	~ 18	Флюорит более 13 %, рутил, гидроокислы железа, ильменит, касситерит и др.
Магнитная фракция - 0,38 гр.		
Магнетит	~45	Мартитизированный, октаэдры, отмечаются сростки с хлоритом и кварцем
Железная стружка (охры)	~50-53	
Минералы магнитной и эл. магнитной фракции	~ 1-2	Хлорит, рутил, гранат, циркон и др.
Сильно-электромагнитная фракция – 2,53 гр.		
Гематит	90	Мартитизированный, сростки с хлоритом
Титаномагнетит	~ 1-2	
Пирит	~ 5	Частично окисленный, октаэдры, кубы и реже додекаэдры
Хлорит	~ 3	
Слабо-электромагнитная фракция – 0,50 гр.		
Гематит	40-45	Мартитизированный, в сростках с хлоритом, 0,05-0,3 мм.
Ильменит	зн.	
Пирит	~ 15-18	Частично окисленный

Продолжение таблицы 11

1	2	3
Гидроокислы железа	~10-12	
Эпидот-цоизит	~ 5	
Амфибол	зн.	
Гранат	зн.	
Сфен	зн.	
Турмалин	ред.зн.	
Хлорит	~ 7	
Циркон бурый (малакон)	~ 9	
Пироксен	ред зн.	
Окислы марганца	зн.	
Силикаты P3	зн.	
Шпинель (ганит)	ред зн.	
Халькопирит	зн.	
Монацит	ед.зн.	
Торит	ед.зн.	
Малахит	зн.	
Медь самородная	ед.зн.	Техногенная
Свинец самородный	ед.зн.	Техногенный
Немагнитная фракция – 2,45 гр.		
Пирит	~40	
Касситерит	~37	От светло-бурого до темно-красновато бурого, 0,01-0,25 мм.
Циркон с разн. оттенком и с разн.вид.малакон	~10	
Рутил	зн.	
Лейкоксен	1	
Анатаз	ед.зн.	
Флюорит	5	
Марказит	7	
Арсенопирит	зн.	
Халькопирит	зн.	
Галенит	ред зн.	
Холькозин	ред зн.	
Ковеллин	ред зн.	
Висмутин	ед.зн.	
Оранжевит	зн.	

Продолжение таблицы 11

1	2	3
Вольфрамит	ед.зн.	
Бастнезит	зн.	
Апатит	зн.	
Торит	зн.	

Как видно из таблицы 10 легкая фракция представлена кварцем, калишпатом, хлоритом, реже светлой слюдой и серицитом. Тяжелая часть фракции состоит из минералов магнитной, электромагнитной и немагнитной фракции (таблица 12).

В магнитной фракции магнетит находится в виде октаэдрических кристаллов и их обломков, интенсивно мартитизированный. В электромагнитной фракции основной минерал гематит, титаномагнетит и ильменит находятся в сростках с гематитом, пирит частично окисленный, в резко подчиненном количестве присутствуют гидроксиды железа, амфибол, эпидот-цоизит, гранат, сфен, турмалин, хлорит, пироксен, окислы марганца, шпинель, висмутин, халькопирит, малахит. Из минералов, содержащих редкоземельные элементы, отмечаются циркон, малакон, монацит, торит, оранжит, реже бастнезит.

Таблица 12 - Минералы тяжелых фракций (кора выветривания)

Минералы магнитной фракции	Минералы электромагнитной фракции	Минералы немагнитной фракции
Магнетит сильно мартитизированный	Рудные – гематит, титаномагнетит, ильменит, пирит, гидроксиды железа, окислы марганца, висмутин, малахит Редкие – циркон, малакон, монацит, торит, оранжит, бастнезит. Нерудные – амфибол, эпидот-цоизит, гранат, сфен, турмалин, хлорит, пироксен, шпинель.	Пирит – 40%, касситерит – 37% и другие.

В немагнитной фракции основные минералы пирит и касситерит, марказит и другие [10].

Касситерит – внешне густо-буро-красный, красновато-бурый, светло-бурый. Под микроскопом в проходящем свете имеет красную окраску (рисунок 29). В отраженном свете в минерале отмечаются включения. Зерна угловатые, размеры варьирует от тысячных долей мм до 0,8 мм и более мм-ов. Основная часть зерен касситерита находится с включениями в сростках с пиритом, марказитом, зеленой слюдой реже с минералами РЗЭ-бастнезитом. По результатам полуколичественного спектрального анализа в касситерите в качестве элементов-примесей установлены Y – 10 г/т и Nb – 100 г/т.



Рисунок 29 - Зерна касситерита из шлиховой пробы

Пирит представлен с включениями и сростками марказита, касситерита и слюд, кристаллы и обломки частично-окисленные, трещиноватые. Атомно-оптическо-эмиссионный спектральный анализ показал, что в качестве элементов примесей в окисленном пирите присутствует: Au – 0,001%; Bi – 0,02%; Y – 0,025%. Вольфрамит редкий стально-серо-черный, безформенно-угловатый, размеры зерен 0,03×0,07 мм. Циркон внешне имеет различные оттенки, сильно измененные. Минерал как основной "носитель" редкоземельных элементов мономинерально отобранные на рассветном анализированы атомно-эмиссионно спектральным методом, где был установлен присутствие РЗЭ (таблица 13).

Таблица 13 - Содержание редких земель по данным атомно-эмиссионного спектрального анализа в цирконах уч.Талайрык

Мест.взятие	Минералы	Na 10 ⁻³	Y 10 ⁻³	Yb 10 ⁻⁴	U 10 ⁻³	Be 10 ⁻⁴	Th 10 ⁻³
ТТ-2	Циркон тем.дымч.	25	150	500	10	10	5
ТТ-2	Циркон серый,т.-серый	25	100	300	20	20	3,5
ТТ-2	Циркон св.бурый	30	100	200	20	5	15
ТТ-2	Циркон прозр.	30	100	200	15	100	20

Аналитик Кенишбаева А.Г.

Из минералов собственно редкоземельных элементов в шлиховых пробах в незначительных количествах встречен монацит и бастнезит. Монацит внешне окрашен светло-желтой окраской, слегка окатанный, форма зерен удлинено округлая, размером 0,015 мм×0,03 мм, блеск жирноватый.

Бастнезит светло-бурый, желтовато-бурый, реже в виде включения встречается в касситерите, зеленых слюдах, растворяется в HCl. Данные микрозондового анализа минерала приводится в таблице 14.

Таблица 14 - Состав бастнезита по данным микрозондового анализа (уч.Талайрык)

Спктр обр.4	Элементы в весовых %									
	O	F	Al	Ca	Y	Na	Ce	Nd	Th	итого
Спектр 1	31,5 5	14,50	0,73	2,99	6,20	13,42	22,07	7,16	1,38	100,00

Аналитики В.А. Левин и П.Е. Котельников, микрозонд УСХА-733

По результатам минералогического анализа в составе коры выветривания на участке Талайрык, к основным редкометалльным рудным минералам отнесены касситерит и вольфрамит, а среди собственно редкоземельных минералов – бастнезит, монацит и радиоактивные торит – оранжит [86,87]. Второстепенные минералы ильменит, циркон, а также малакон. Остальные минералы относятся к редким и акцессорным (таблица 15) [15,с. 60;88].

Таблица 15 - Минеральный состав коры выветривания участка Талайрык

Основные	Второстепенные	Редкие и акцессорные
Рудные		
1	2	3
Касситерит Вольфрамит	Ильменит	Магнетит Гематит Титаномагнетит Пирит Марказит
Торит Оранжит Монацит Бастнезит	Циркон Метамиктный малакон	Арсенопирит Халькопирит Галенит Висмутин Халькозин Рутил
Гипергенные – гидроксиды железа, окислы марганца, малахит, самородные свинец и медь		

Продолжение таблицы 15

1	2	3
Нерудные		
Кварц Полевые шпаты	Турмалин Амфибол Эпидот-цоизит Гранат Пироксен Хлорит Мусковит	Циркон Рутил Флюорит Ганит Сфен
Гипергенные –лейкоксен, анатаз		

Результаты полуколичественного и минералогического анализа привели к следующим выводам:

1. По данным спектрального полуколичественного анализа в среднем по участку Талайрык сумма цериевого ряда преобладает над иттриевой.

2. Собственно редкоземельный минерал бастнезит, фосфат редких земель монацит отнесены к числу основных, равно как и радиоактивные минералы – торит и его разновидность оранжит.

3. Основные редкометалльные минералы – касситерит и вольфрамит могут являться потенциальными носителями РЗЭ, куда они могут входить в виде изоморфной примеси [15,89]. В касситерите были выявлены в качестве элементов-примесей Y – 10 г/т и Nb - 100 г/т. Nb может присутствовать в касситерите в виде включений минерала колумбита.

4. Второстепенные минералы – циркон и метамиктный малакон также входят в список, где могут быть изоморфные примеси РЗЭ.

3.5 Трехмерная модель редкоземельного участка Талайрык

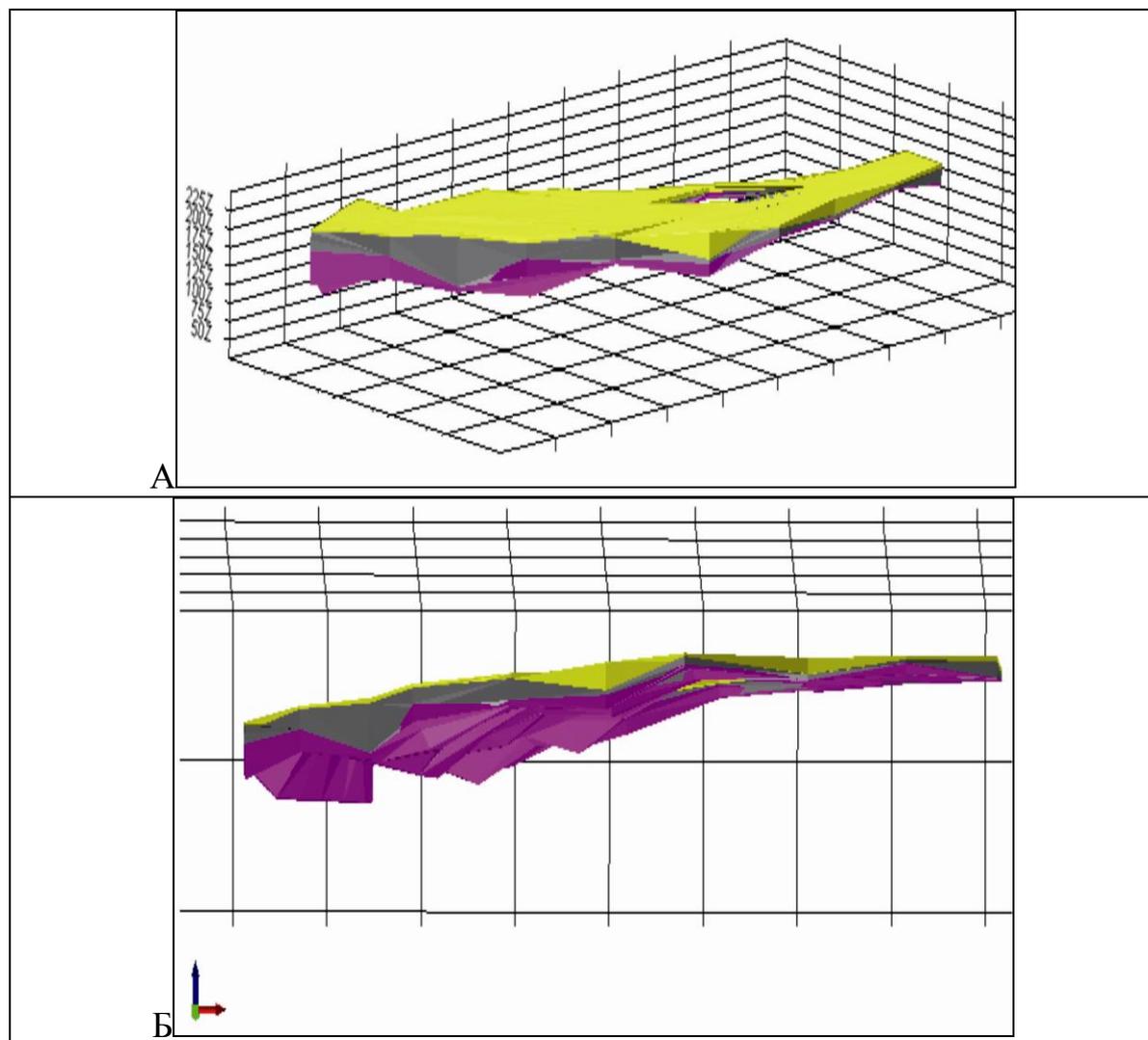
3.5.1 Каркасная модель литологического строения и рудных тел редкоземельного участка

Исходные данные для построения цифровой трехмерной модели по участку Талайрык были предоставлены в виде графики (геологическая карта, геологические разрезы и планы опробования поверхности и подземных горизонтов) и подсчетных таблиц из отчета акционерного общества «Тургайская геологоразведочная экспедиция» 1994г.

Каркасная модель литологического строения участка Талайрык. Моделирование литологического строения участка проводилось по литологическим границам, показанным на подсчетных разрезах к подсчету запасов 1994 г. Были выделены следующие литологические слои: граница неоген-четвертичных отложений; граница рыхлых мезокайназойских отложений; граница гнейсо-гранитов (рисунок А,Б,В, 30).

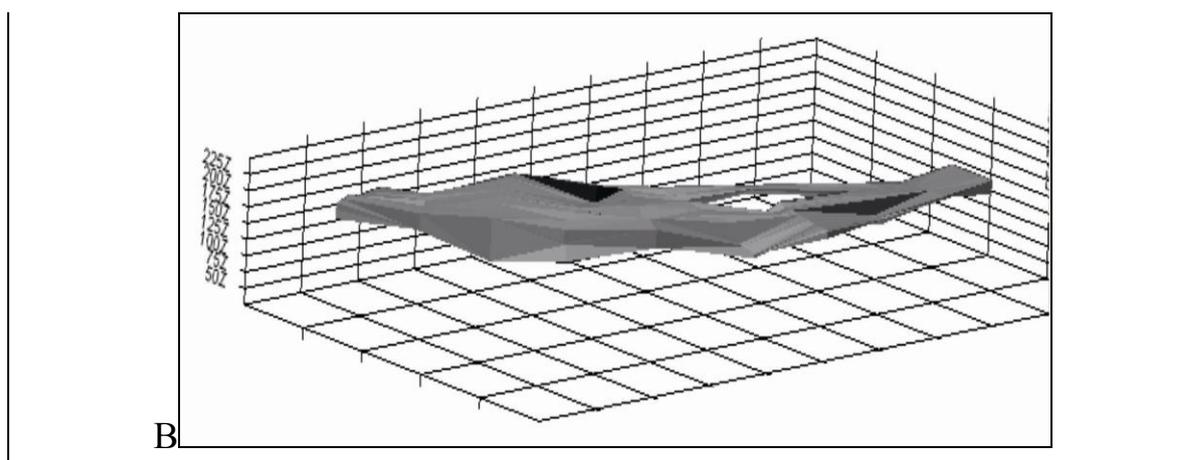
Отложения четвертичного времени на территории участка Талайрык пользуются широким развитием. Ими сложены низкие водораздельные

пространства у слияния рек, русловая и склоновая части речных бассейнов. Как видно из каркасной модели литологического строения участка все четвертичные отложения района подчиняются единому пространственному плану, мощность этих отложений меняется в пределах от 6 до 20м. Площадь участка Талайрык перекрыта рыхлыми мезокайнозойскими отложениями, которые представлены корами выветривания, развитыми по гнейсо-гранитам и сланцам, в понижениях рельефа-полимиктовыми разнозернистыми песками. Средняя мощность площадных кор выветривания составляет 25м. В линейных зонах мощности кор исчисляются до 100 и более метров. По моделированию литологического строения участка определено положение гранитов на глубине и отмечена, что наибольшая мощность гранитных массивов достигает в своей северо-восточной части, и здесь по расчетным гравиметрическим данным отмечаются и максимальные высоты над уровнем моря (г.Соуктал, 310м) (рисунок 30).



А-изометрический вид СВ,Б- вид снизу

Рисунок 30 - Трехмерная каркасная модель литологического строения участка Талайрык, лист 1



В- кора выветривания. Желтый - неоген-четвертичные отложения; серый - рыхлые мезокайнозойские отложения; розовое-гнейсо-граниты

Рисунок 30, лист 2

Повышенные концентрации *иттрия и редких земель* в фундаменте связаны с фосфатами и цирконом, в меньшей степени с оксидами. Следует отметить, что по составу акцессорных минералов Соуктальский массив относится к гранат-турмалин-цирконовому типу [75,с. 59].

Талайрыкское рудопроявление редких земель связано с массивом редкометалльных гнейсо-гранитов (массив Соуктал). Контакты массива Соуктал с вмещающими породами имеют различный характер. Северо-западный, западный и юго-западный характеризуются пологим падением (данные по бурению и геофизическим исследованиям), а падение восточного контакта крутое [75,с. 55].

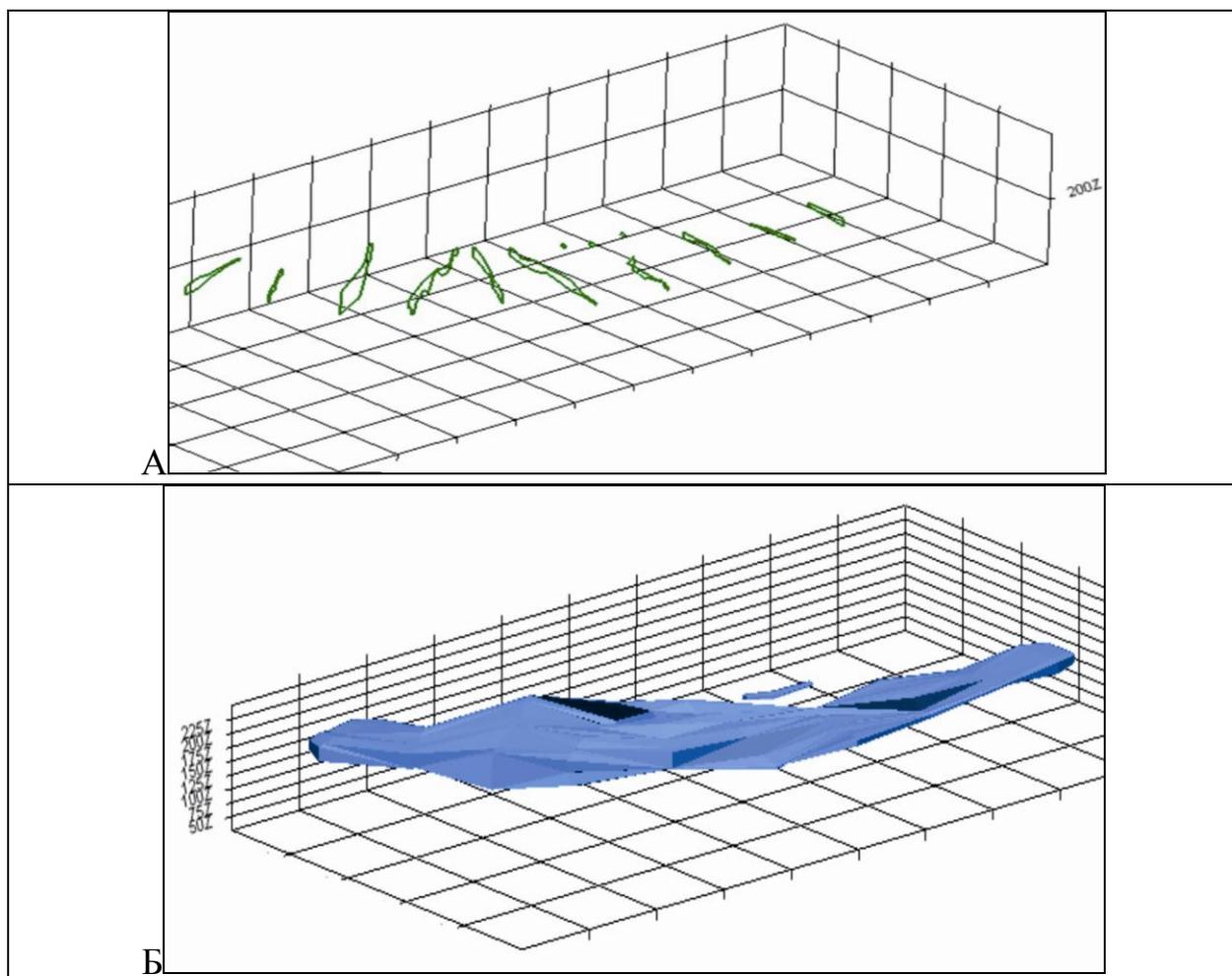
Эти особенности литологического строения участка отражены в их трехмерных каркасных моделях [90].

Промышленный интерес редкоземельного оруденения представляют линейные коры выветривания, развитые по грейзенизированным гнейсо-гранитам представленным непеременными продуктами выветривания (структурные слюдисто-дресвянистые, реже слюдисто-глинистые), мощность которых достигает до 100 и более метров, хотя промышленные содержания отмечаются и в коренных породах [75,с. 55].

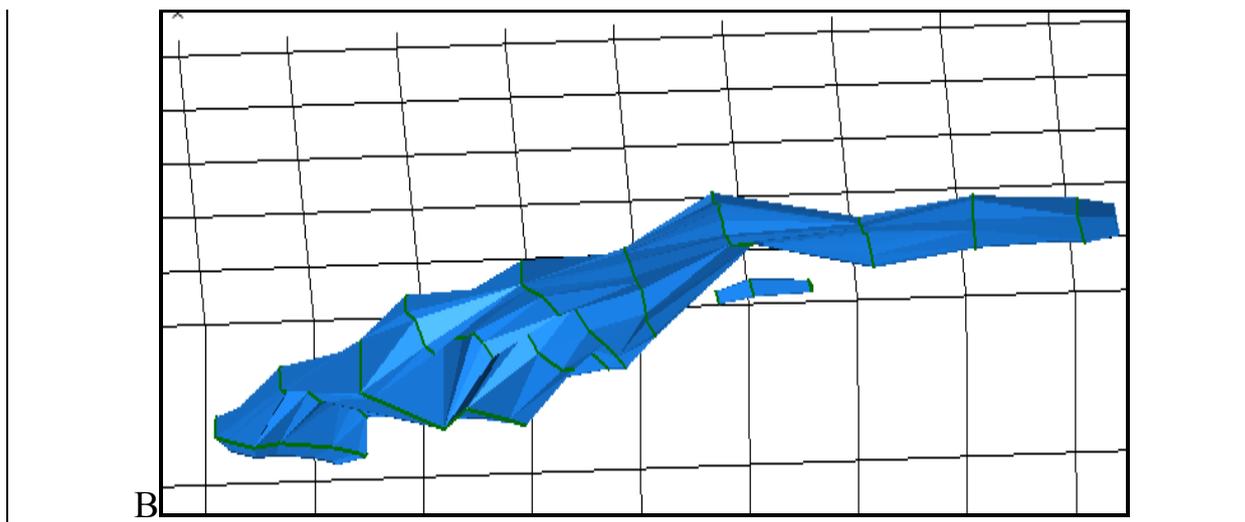
В этой связи отдельно рассматривается трехмерная модель коры выветривания на данном участке (рисунок В. 30). Она показывает, что мощность коры выветривания на участке Талайрык изменяется от 25 до 100 м. Наибольшая мощность коры выветривания отмечена в северо-восточной части рудного участка, где мощность гранитных массивов, по геофизическим данным, имеет максимальное значение. Здесь в коре выветривания основными минералами носителями *иттрия и редких земель* являются каолинит, гидромусковит и меньшей степени плагиоклаз. Среднее содержание минералов коры выветривания: кварц – 40%, каолин – 42%, серицит – 18%. Корой

выветривания гнейсо-гранитов контролируется редкоземельная минерализация на участке Талайрык, и очень важным является четкое определение зон коры выветривания и контактов пород [91]. Здесь по минералогическим данным редкоземельными элементами наиболее обогащен мусковит зеленого цвета, в котором отмечаются примеси иттрия, самария, европия, гадолиния, ербия, гольмия, тулия, диспрозия - сотые доли процента, оксида мотеция (до 0,12%) и оксида гольмия до 0,31%.

Каркасная модель рудного тела на участке Талайрык. Проинтерпретированные стринги были использованы для создания трёхмерных замкнутых каркасных моделей рудных тел (рисунок А. 31). Каждый геологический разрез выводился на экран совместно с ближайшими соседними проинтерпретированными разрезами, после чего стринги использовались для создания каркасной модели рудного тела между разрезами. Если тело не появлялось на соседнем разрезе (не существовало), то оно с предыдущего разреза проецировалось на половину расстояния между этими разрезами, после оно обрывалось и замыкалось [92].



А - стринги рудных тел. Изометрический вид СВ; Б - трехмерная каркасная модель рудного тела на участке Талайрык. Изометрический вид СВ



В - вид снизу каркасной модели рудного тела

Рисунок 31, лист 2

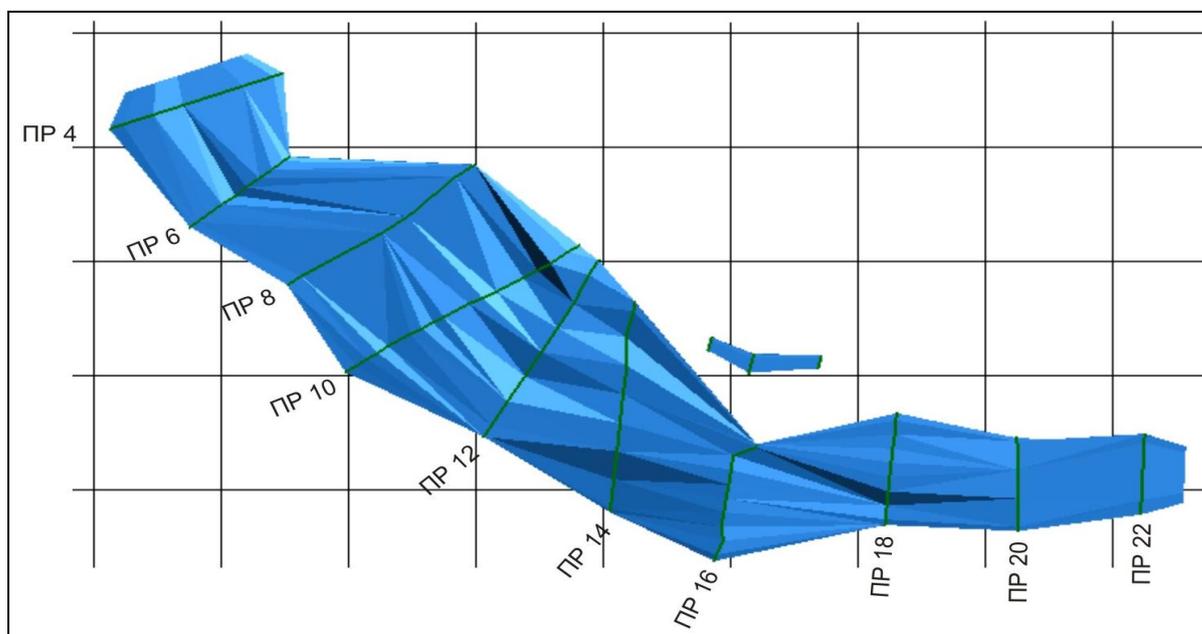


Рисунок 32 - Трехмерная каркасная модель рудного тела на участке Талайрык.
Вид с верху(план)

3.5.2 Блочная модель участка Талайрык

Как известно, построение блочной модели начинается с создания пустой блочной модели, где под термином "пустая модель" понимается пространство, заполненное блоками заданного размера.

Перед созданием пустой блочной модели, необходимо задать границы прямоугольного параллелепипеда, полностью вмещающего моделируемое рудное тело или рудные залежи. После создания пустой блочной модели ищутся блоки, пересекающиеся с каркасом соответствующего рудного тела, и только эти блоки оставляются в модели, а остальные "выбрасываются".

Оставшаяся модель будет содержать только те блоки, которые будут использоваться при интерполировании содержаний полезных ископаемых. Далее одним из методов интерполяции для каждого блока определяются значения интересующих нас параметров рудных тел - обычно это содержания полезных компонентов, но могут быть и другие показатели (объемный вес руды, какие-то статистические характеристики, геохимические коэффициенты и т.п.) [21, с. 49-69].

Итак, после создания объёмной каркасной модели по рудному телу создается блочная модель рудного тела – внутреннее пространство каркасной модели заполняется ячейками (блоками).

Первоначально модель была создана, используя размер материнских ячеек 50x200x10 м по осям X, Y и Z, которые затем делятся на блоки меньшего размера (минимальный размер блока 10x10x10 м по X, Y и Z осям) на выклинках рудных тел. Такие размеры блоков соответствуют параметрам разведочной сети участка и пропорциям рудного тела.

Предусмотренное программой разделение материнских блоков на блоки меньших размеров связано с более надежной оценкой содержаний металлов в приконтурных частях рудных тел и в рудных телах небольшой мощности. На этой стадии блочного моделирования были определены координаты центров каждого материнского блока.

На следующем этапе композитные пробы с соответствующим содержанием РЗМ были импортированы, в пустую блочную модель, затем проинтерполированы, используя метод обратных расстояний.

При интерполяции был использован подход «оценки материнских блоков», то есть все субблоки в пределах одного материнского блока получали одно и то же среднее содержание.

Процессы обратных расстояний были использованы при различных значениях радиуса поиска, пока все блоки не были проинтерполированы. Радиусы поиска были определены по параметрам полувариограмм.

Первые радиусы поиска были равными двум третям зон влияния полувариограмм по направлениям: вдоль простирания, падения и по мощности рудных тел. Те блоки, которые не получили оценку содержания после первой интерполяции (прогона), были проинтерполированы с радиусом поиска, равным зоне влияния полувариограмм.

Блоки модели, которые не получили оценки среднего содержания в результате первых двух интерполяций, проинтерполированы последующей интерполяцией, для которой радиус поиска был равным 2 зонам влияния полувариограмм во всех направлениях.

Для повышения надёжности оценки средних содержаний при интерполяции блоков модели с использованием зон влияния полувариограмм применялось следующее ограничение: блок должен быть оценён как минимум одной пробой, по одной выработке.

При интерполяции использовался процесс декластирования путём разбивки эллипсоида поиска на четыре сектора. Наложение ограничения для

каждого сектора было следующим: максимальное количество точек в секторе – 4, минимальное - 2.

В результате получена визуализация зон с различными содержаниями РЗМ, как отдельные рудные зоны на участке Талайрык. Наибольшая распространенность на данном участке имеют рудные зоны с содержанием РЗМ от 0,016 до 0,06%, и они охватывают как верхние, так и нижние горизонты коры выветривания гнейсо-гранитов. (рисунок 33).

Рудные зоны с высокими содержаниями РЗМ (от 0,6 и >0,07%) распространены также и в верхних, и в нижних горизонтах участка Талайрык, но наиболее распространенными из них являются зоны с содержанием РЗМ >0,07% (рисунки 34, 35).

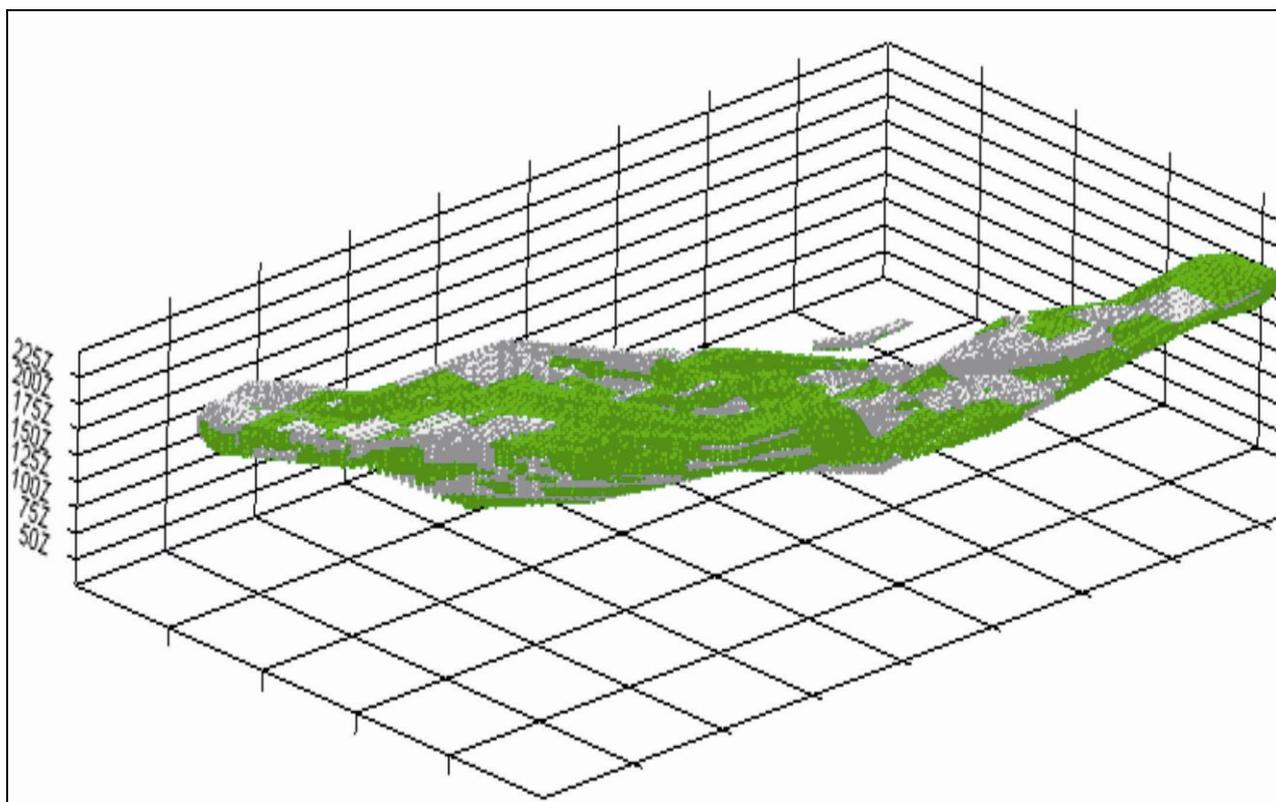


Рисунок 33 - Трехмерная блочная модель рудной зоны с содержанием РЗМ 0,016-0,06% на участке Талайрык (представлена зеленым цветом).
Изометрический вид СВ

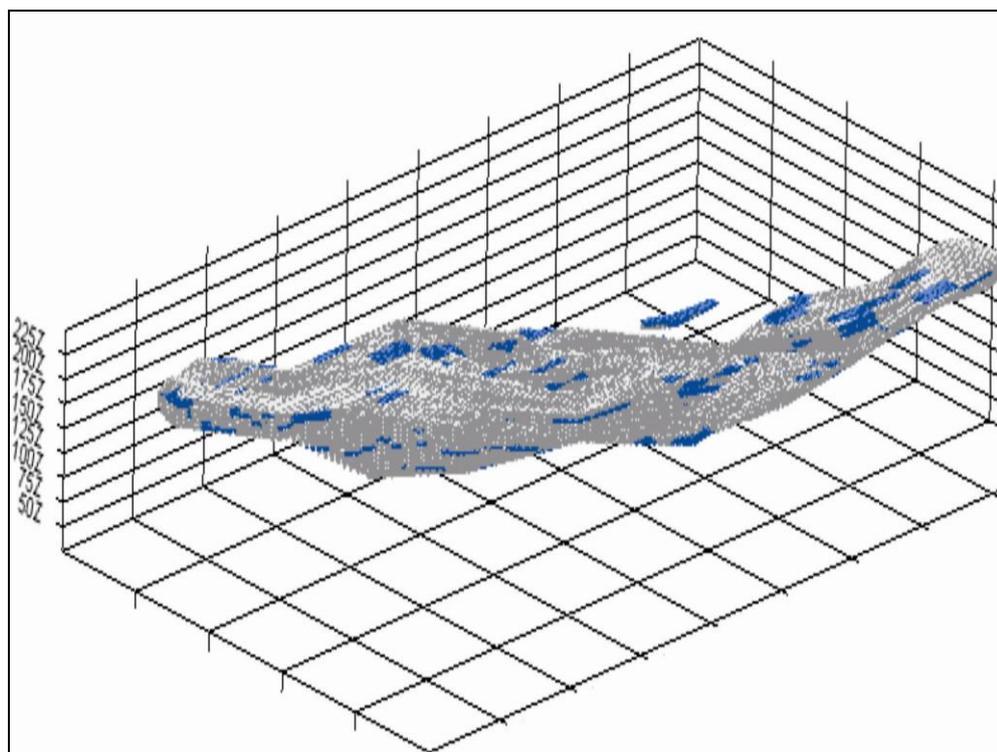


Рисунок 34 - Трехмерная блочная модель рудной зоны с содержанием РЗМ 0,06-0,07% на участке Талайрык (представлена синим цветом). Изометрический вид СВ

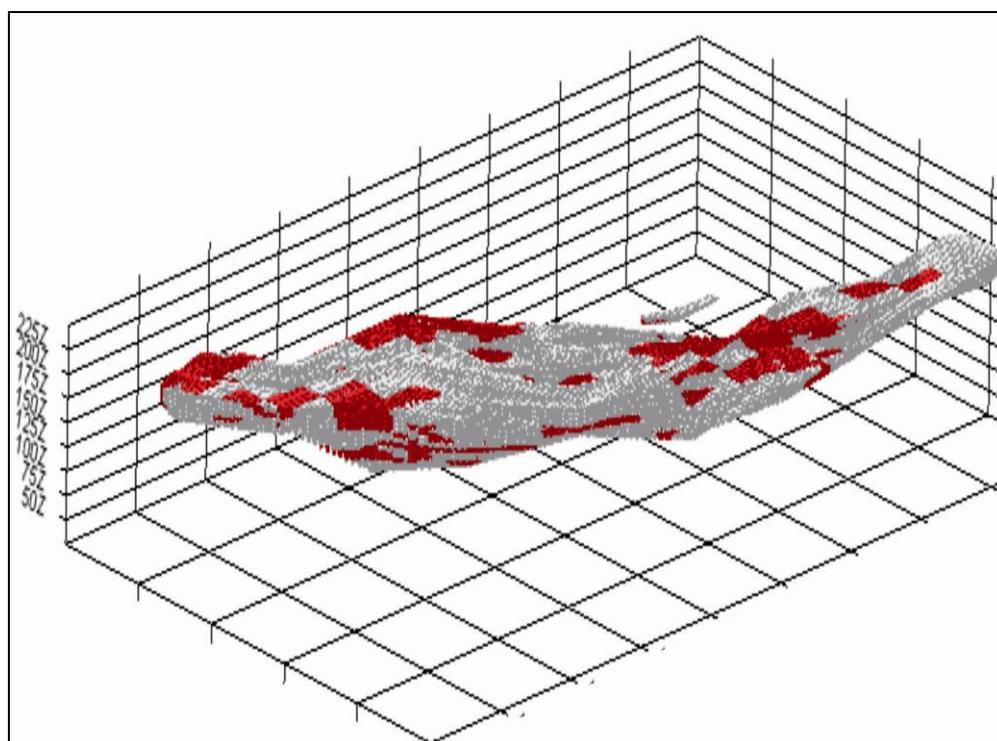
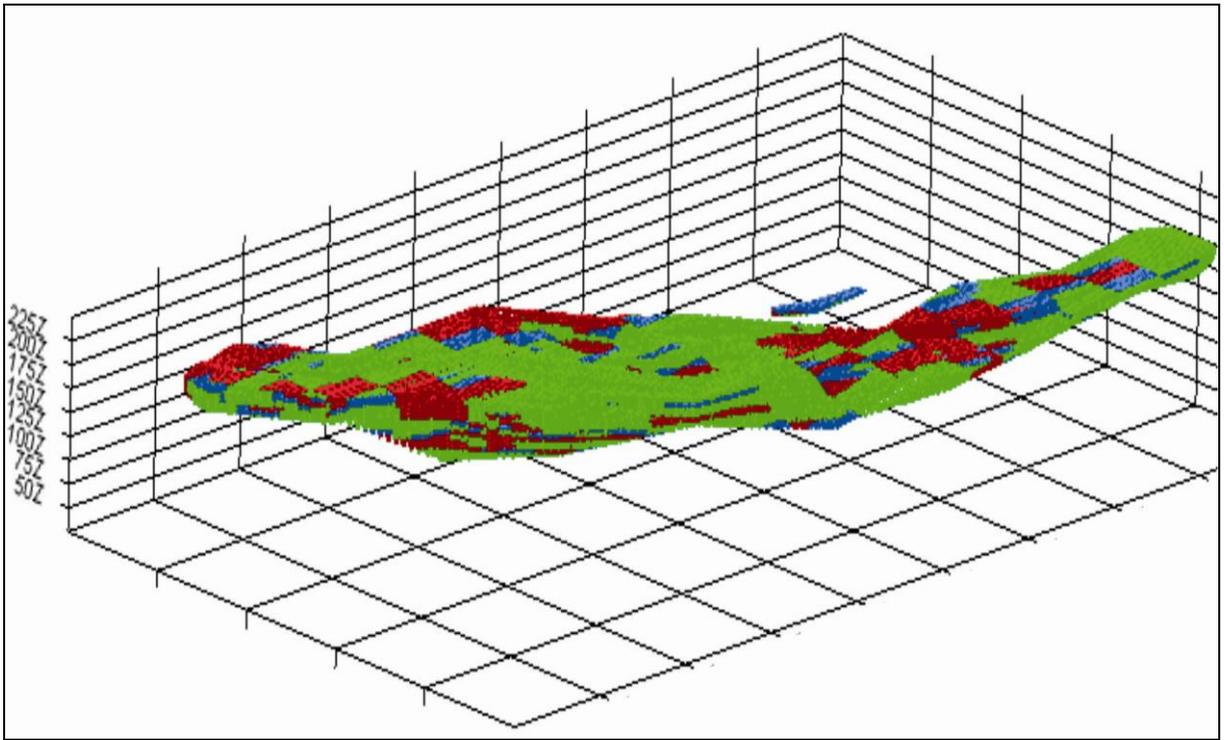
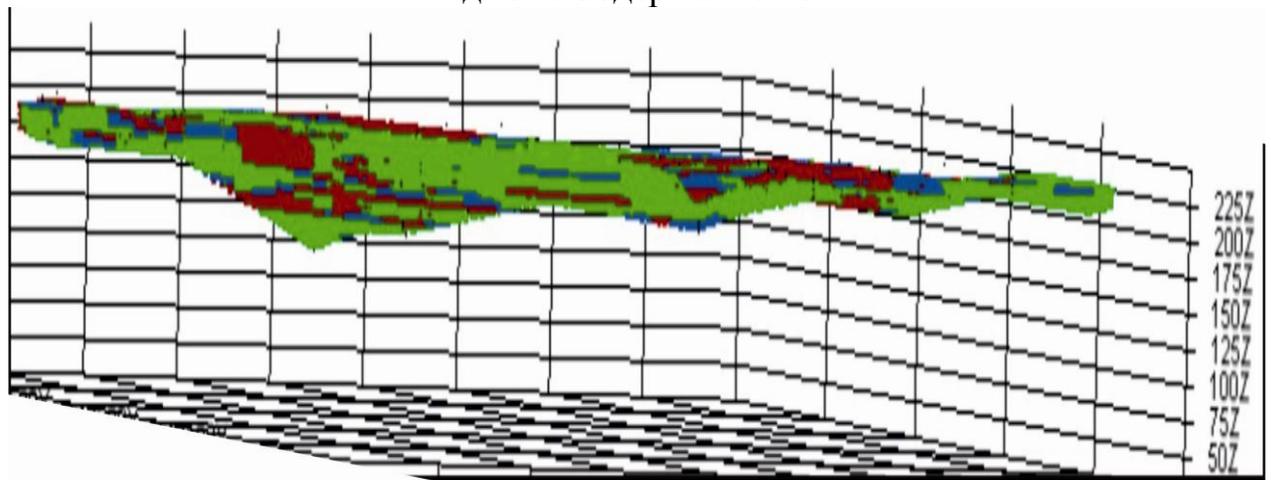


Рисунок 35 - Трехмерная блочная модель рудной зоны с содержанием РЗМ >0,07% на участке Талайрык (представлена красным цветом). Изометрический вид СВ



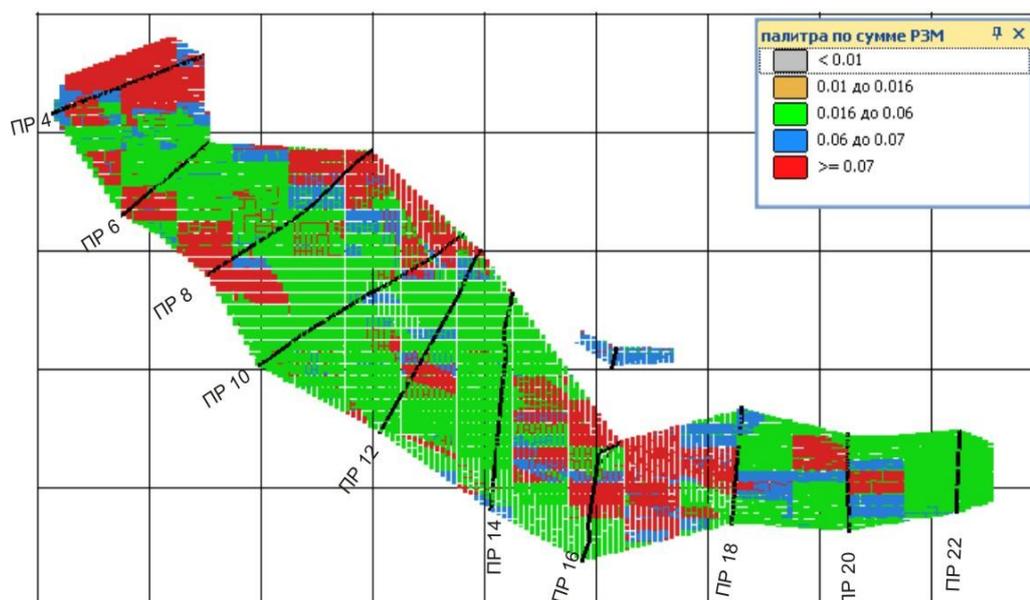
зеленый – 0,016-0,06%; синий – 0,06-0,07%; красный – >0,07%

Рисунок 36 - Трехмерная блочная модель участка Талайрык. Изометрический вид СВ. Содержание РЗМ



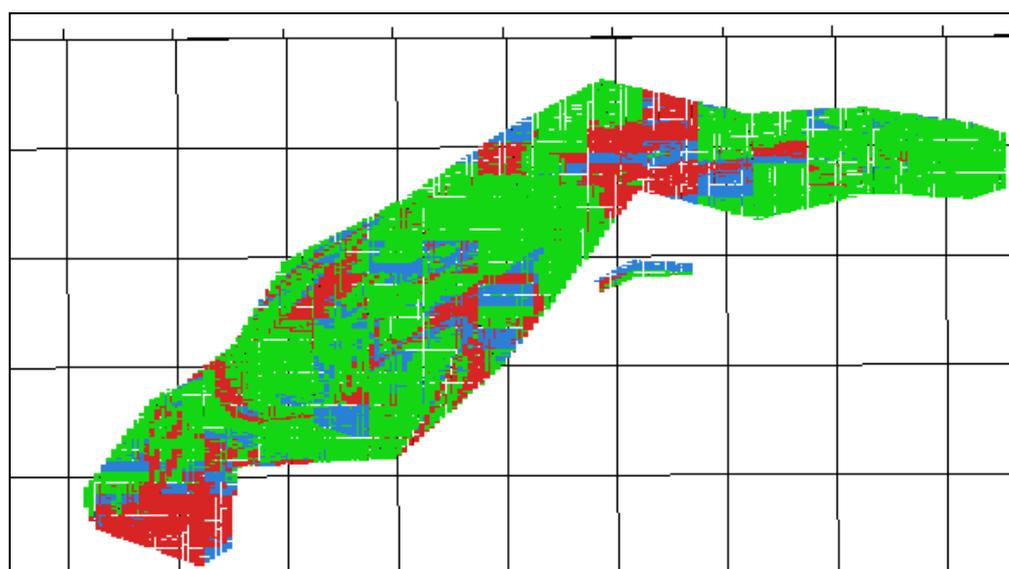
зеленый – 0,016-0,06%; синий – 0,06-0,07%; красный – >0,07%

Рисунок 37 - Трехмерная блочная модель участка Талайрык. Вид сбоку. Содержание РЗМ



зеленый – 0,016-0,06%; синий – 0,06-0,07%; красный – >0,07%

Рисунок 38 - Трехмерная блочная модель участка Талайрык. Вид сверху (план).
Содержание РЗМ



зеленый – 0,016-0,06%; синий – 0,06-0,07%; красный – >0,07%

Рисунок 39 - Трехмерная блочная модель участка Талайрык. Вид снизу.
Содержание РЗМ

Кроме того, управление цветом позволяло визуализировать зоны различного содержания РЗМ одновременно, вследствие чего получена трехмерная блочная модель участка Талайрык (рисунки 36,37,38,39). Она рассматривается в различных позициях (сбоку, сверху, снизу), и это позволяет:

- определить пространственное расположение зон с различными содержаниями РЗМ в пределах одного рудного участка и выделить зоны с повышенными их содержаниями ;

- оценить вертикальный размах участка минерализации в пределах от 25 до 75 м, со средним значением вертикального размаха в пределах до 50м. По данным АО «Тургайская геологоразведочная экспедиция» мощность рудного участка оценивается в пределах до 42 м. Как видно, из этих данных в вертикальных геометрических параметрах рудного участка образовалось расхождение;

- провести оценку содержаний РЗМ в блочной модели, так как для процессов интерполяции содержаний используется геостатистический анализ, который является основой в выборе методики автоматизированного расчета средних содержаний. В пределах каркасов рудных тел все пробы были приведены к одинаковой длине, равной 1.0м. Таких проб по данному участку получилось 1374, и по ним был сделан геостатистический анализ (рисунок 40). Содержания РЗМ по блочной модели данного участка выше (640г/т), чем содержания (617г/т), указанные в отчетах АО «Тургайская геологоразведочная экспедиция» 1994г.

Такие расхождения в геометрических параметрах рудного участка и содержаниях РЗМ могут быть обусловлены характером материалов, используемых для составления базы данных скважин для моделирования. Этих данных пришлось извлекать с графического материала, внося дополнительную погрешность в результаты съемки.

С другой стороны, надо учитывать нюансы пространственной геометрии при построении трехмерной модели рудных тел, которые грубеют при ручном счете в процессе применения формул простых геометрических тел. Тогда повышение суммарных содержаний РЗМ можно связать с более высокоточной методикой расчета с учетом геостатистических параметров.

Следовательно, трехмерная блочная модель позволяет конкретизировать геометрические параметры, а также более точно оценить содержания РЗМ участка Талайрык.

Таким образом, полученные результаты блочного моделирования в 3D дают уточнение пространственного размещения различных содержаний РЗМ, их взаимоотношений в трехмерной среде, а также возможность выделения участков руд по основным наиболее важным параметрам, таким как повышенное содержание полезного компонента и их локализации в той или иной геологической и литологической обстановке.

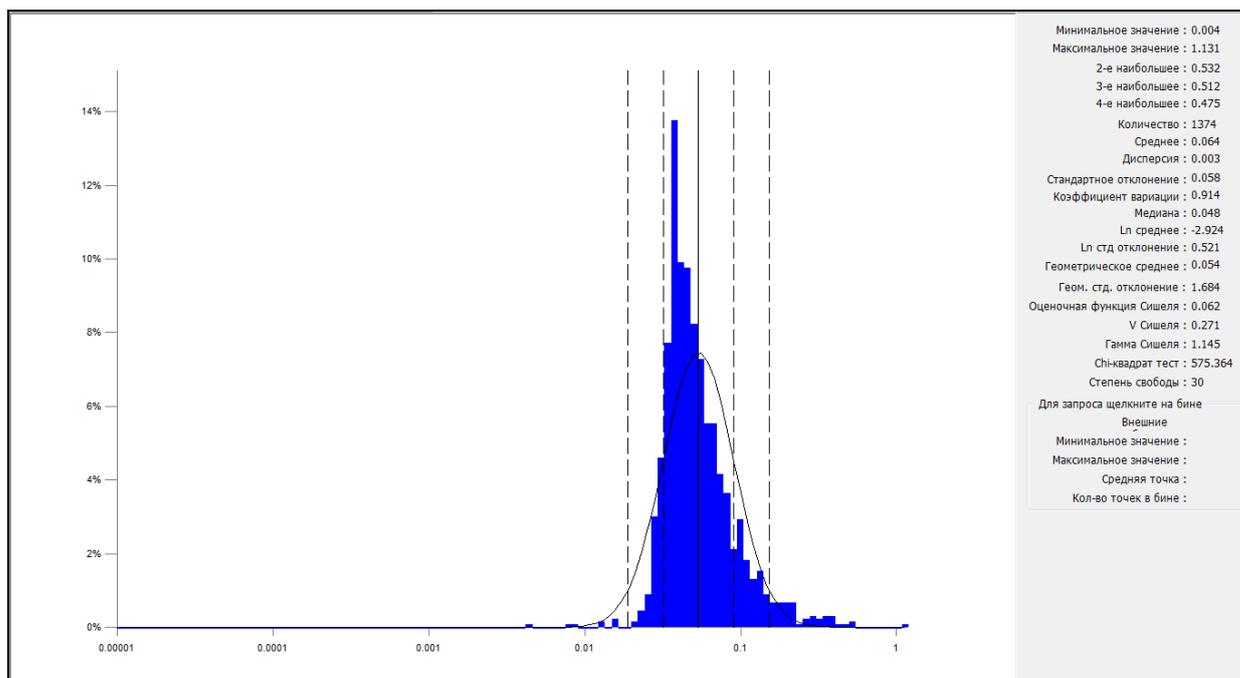


Рисунок 40 - Статистические данные суммарного содержания $J_2O_3+P_3E$

3.5.3 Интерпретация содержаний РЗЭ по разведочным профилям

Интерпретация была проведена в интерактивном режиме по 10 разведочным линиям (рисунок 41). Каждый разрез был выведен для просмотра в среде Micromine Визексе. На разрезы были выведены результаты процентного содержания РЗМ в исходных пробах различными цветами. Все интерпретированные стринги привязывались к соответствующим интервалам опробования, то есть интерпретация была проведена в трёхмерной среде. Если тело не протягивалось до соседнего профиля, оно проецировалось на половину расстояния до следующего профиля и обрывалось. При этом общее направление простирания и падения рудных тел выдерживалось.

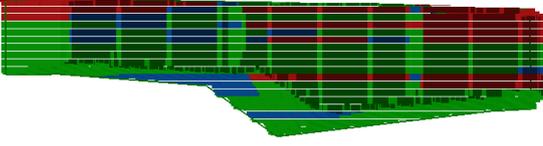
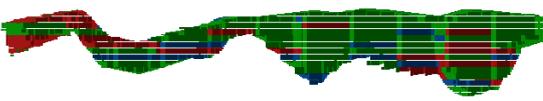
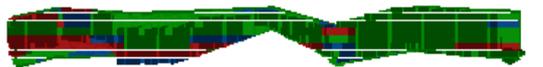
Результаты интерпретации разрезов по разведочным профилям оформлены в виде таблицы, где проведены оценки разрезов:

- по геометрическим параметрам;
- по распространенности зон с различным содержанием РЗМ.

Таблица 16 - Разрезы по разведочным профилям с визуализацией содержаний РЗМ на участке Талайрык

Номера развед. профилей	зеленый – 0,016-0,06%; синий – 0,06-0,07%; красный->0,07%	Качественная интерпретация разреза
1	2	3
4		средний по мощности и по протяженности, восточная часть разреза отличается повышенным содержанием РЗМ.

Продолжение таблицы 16

1	2	3
6		средний по мощности и по протяженности, в нижних частях разреза встречаются зоны с повышенным содержанием РЗМ.
8		большой по мощности и по протяженности, как в верхних, так и в нижних горизонтах разреза встречаются зоны с повышенным содержанием РЗМ.
10		относительно большой по мощности и по протяженности, в западной части разреза сосредоточены зоны с повышенным содержанием РЗМ.
12		большой по мощности и по протяженности, зоны с повышенным содержанием РЗМ встречаются в нижних горизонтах разреза.
14		средний по мощности и по протяженности, содержание РЗМ среднее. В нижних горизонтах этого разреза встречаются зоны с повышенным содержанием РЗМ.
16		средний по мощности и по протяженности, содержание РЗМ высокое и они охватывают почти всю мощность разреза.
18		средний по мощности, по протяженности и содержанию, хотя встречаются зоны в средней части разреза с повышенным содержанием РЗМ.
20		небольшой по мощности и по протяженности, содержание РЗМ высокое и они охватывают верхние части разреза.
22		небольшой по мощности, по протяженности, и по содержанию РЗМ.

Полученные результаты качественной интерпретации разрезов привели к следующим выводам:

- в результате визуализации разрезов по содержанию показаны, что 7 разрезов из 10 исследованных на участке Талайрык имеют зоны с повышенными содержаниями РЗМ и эти зоны занимают различные уровни в пределах коры выветривания гнейсо-гранитов. Следовательно, ***определенной закономерности по распределению зон с повышенными содержаниями РЗМ на данном участке не прослеживается;***

- рудные тела, включающие различные содержание РЗМ, по разрезу имеют простую форму, ***в основном пластовую;***

- разрезы по разведочным профилям отличаются по геометрическим параметрам. Самыми протяженными являются разрезы разведочных профилей 8,10,12,14. Мощность рудных тел в этих разрезах 3-4 раза больше чем в других разрезах данного участка. Это связано с мощностью коры выветривания в пределах этих профилей, где она достигает до 100м. Следовательно, ***корой выветривания гнейсо-гранитов массива Соуктал контролируются геометрические параметры зон редкоземельной минерализации на участке Талайрык.***

4 КРИТЕРИИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГИПЕРГЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

В поисковой геологии для прогноза месторождений полезных ископаемых используются специфические критерии или факторы: литолого-стратиграфический, фациальный, структурно-тектонический, геофизический, геохимической и т.д.. Начиная с 80-х годов прошлого столетия стало развиваться новое направление, где критерии прогнозирования были основаны на различных модельных построениях, содержащие огромные геологические информации [86,с. 180].

Модели, существующие в геологии, подразделяются на следующие группы:

- качественные, основанные на гипотезах и представлениях;
- количественные, основанные на эмпирических данных;
- фактологические, основанные на экспериментальных данных;
- анализ факторов подобия – основанные на факторах связи, взаимосвязи между ними.

Эти модели решают не только практические задачи геологии, но и теоретические задачи теории рудообразования.

С помощью *методов качественных моделирований* до сих пор описываются процесс рудообразования на месторождениях полезных ископаемых, когда недостаточно информации для построения других видов моделей. Такие модели, называемые *качественными*, работают только на качественно-схематическом уровне, но они до начала работ по систематизации накопленной информации крайне важны.

С другой стороны, такие концептуальные модели являются каркасами или основой для формирования любых других моделей, так как в них заложены основные элементы прогноза.

Как известно, *количественные модели* будут построены на эмпирических данных, а описание геологических процессов на языке математической физики упрощает решение теоретических задач теории рудообразования, где процессы рудообразования рассматриваются в пространственно - временном отрезке. Однако при построении количественных моделей в соответствии с принципом простоты требуется высокая степень избирательности по отношению к имеющейся геологической информации. Сложность модели должна определяться не сложностью анализируемой системы, а той точностью, которая необходима для прогноза.

Фактологические модели составляют краевые и граничные условия при решении дифференциальных уравнений, описывающие геологические процессы и процессы рудообразования, тем самым составляют часть количественной модели. Как известно, изучение геологических параметров для решения задач прогнозирования требует его формализованного представления, а формализация геологических параметров не позволяет учитывать специфики геологии и геологических процессов. Например, при построении

модели в трехмерном геологическом пространстве нельзя ограничиваться уравнениями исходя только из законов физики и химии, поскольку неизвестными остаются многие параметры, которые определяются на основе экспериментальных и статистических данных. В таких случаях фактологические модели предоставляют наиболее достоверные данные для установления критериев прогнозирования [86, 215 с.; 93].

К *анализу факторов подобия* относится геолого-картографические модели (ГИС). Картографическое моделирование – одно из фундаментальных понятий картографии – использовалось задолго до внедрения технологий ГИС, хотя и не имело четкого научного определения. Оно объединяло и способ анализа картографической информации, и форму ее представления, причем в основном их практическую составляющую. ГИС внесли в это направление много новых полезных возможностей. Поэтому многие геологи давно осознали и по достоинству оценили уникальный инструментарий, заложенный в этих ГИС-программах. В ГИС картографическая информация представляется совокупностью картографических покрытий (слоев). Они формируются из картографических объектов, связанных с базами данных и составляющих так называемую базу геоданных (БГД). Задача выбора минимально допустимого числа факторов анализа для геолого-картографического моделирования связана с качественным и количественным составом БГД. В этом случае, полная БГД состоит из трех частей: топографической и геологической (в том числе геофизической) основ и данных ДЗ (дистанционного зондирования). Было подсчитано, что при рассмотрении полной БГД, содержащей слои топографической карты, набора обязательных специальных геологических карт, аэрофотоснимков (АФС) и космических снимков (КС). При этом одним из важнейших моментов является установление минимально допустимого количества факторов для компетентного решения задачи с получением представительного результата. Исследователю требуется установить количество объектов, необходимых для моделирования. После установления количества объектов-факторов проводится непосредственное моделирование, основную роль в котором играет анализ факторов подобия. Этот метод принципиально сводится к сложению (наложению) факторов или к пересечению множеств объектов с образованием нового множества. При работе с картографическими объектами производятся иные допустимые действия, причем результат уже дает смоделированный объект. Следует отметить, что картографическое моделирование с целью прогноза месторождений полезных ископаемых и решения иных прикладных задач начинает все шире использоваться в практической геологии, даже, несмотря на отсутствие развитой теоретической основы. В будущем видится, что, при разработке методологии, оно оформится в основное направление поисковой геологии и прогноза геологических процессов с использованием широких возможностей ГИС-технологий [93, с. 77-80].

Трехмерные модели месторождения полезных ископаемых относятся к анализу факторов подобия.

Основная часть предприятий или организаций, занимающихся вопросами геологической разведки, используют в своей работе специальные программные средства, в частности **Micromine**, и информационные системы - **ГИС**. Использование подобных специальных компьютерных программ и систем позволяет значительно ускорить процесс обработки и анализа геологической информации, т.е. автоматизировать процессы обработки и интерпретации данных геологоразведки, а также использовать их для моделирования месторождений и выполнения всевозможных расчетов и оценок (запасы месторождения). В этом случае трехмерную модель геологической системы или месторождения полезных ископаемых можно представить как один из вариантов представления геологической информации, позволяющей создать не только информативно-прогнозную модель эталонных рудных объектов, но и установить критерии прогнозирования. В общем случае она представляет собой классификатор признаков, для каждого из которых определена информативность, как количественная характеристика его прогнозно-поисковой значимости [93, с. 77-80].

В этой связи нами рассматриваются трехмерные модели месторождения Кундыбай и участка Талайрык для установления критериев прогнозирования редкоземельных месторождений гипергенного происхождения.

Месторождение Кундыбай. На основе анализа трехмерных моделей (каркасных, блочных) и геологических информационных установлены следующие критерии прогнозирования:

1) **Геологические:** перспективны на обнаружение месторождений и рудопроявлений редких земель кора выветривания докембрийских метаморфических пород мариновской свиты (амфиболиты, гнейсы, кристаллические сланцы) вдоль западного экзоконтакта Шевченковского ультраосновного массива, где по расположению в стратиграфической колонке эти породы разделены на три горизонта: верхний – кварцит-сланцевый, средний – амфиболитовый и нижний – гнейсовый. Практически повсеместно развита мезозойская кора выветривания. Первоисточником редкоземельного оруденения являются сами породы фундамента, особенно гнейсы и амфиболиты, которые в мезозое в процессе химического выветривания преобразовались в глинистые минералы с выделением редкоземельных элементов.

2) **Геохимические:** «каолинитовый» профиль коры выветривания по всем метаморфическим породам и минералого-геохимическая зональность в вертикальном разрезе коры выветривания. Кору выветривания в разрезе (снизу вверх) представлены 3 этажами: нижней **зоной дезинтеграции** выщелоченных материнских пород, выше располагается средняя зона нацело **каолинизированных рыхлых** песчано-глинистых пород, верхняя зона сложена рыхлыми песчано-глинистыми **бесструктурными каолинитами**. Снизу вверх от зоны выщелоченных пород до бесструктурных каолинитов происходит закономерное нарастание доли гипергенных порообразующих минералов - каолинита, гидрослюд, гидроокислов железа и марганца и вновь образованных

минералов – черчита и лейкоксена. Снизу вверх нарастает и достигает промышленных концентраций редких земель в средней и верхней части разреза коры выветривания.

3) **Минералогические:** обнаружение новообразованных гипергенных минералов в корах выветривания – черчита, иттрорабдофанита и неодимового бастнезита, остаточных редкоземельных минералов - ксенотима и монацита, в некоторых второстепенных породообразующих минералах коренных пород – граната, биотита, а также аксессуарных - апатита и ортита, в которых концентрируются редкие земли.

Участок Талайрык. На основе анализа трехмерных моделей (каркасных, блочных) и геологических информации установлены следующие критерии прогнозирования:

1) **Геологические:** перспективность на обнаружение месторождений и рудопроявлений редких земель рыхлых мезокайнозойских отложений, которые представлены линейными корах выветривания, развитых по гнейсо-гранитам Соуктаьского массива и сланцам, где формирование линейных кор выветривания обусловлено узлами пересечения тектонических нарушений различного направления, особенно вдоль контактов толщ с различными физико-механическими свойствами.

2) **Метасоматические:** наличие постмагматических измененных пород (альбитизированные, грейзенизированные, флюоритизированные в зонах развития интенсивной калишпатизации), так как к ним приурочены повышенные концентрации иттрия и редких земель;

3) **Геохимические:** наличие элементов-спутников: олова, циркония, цинка, ниобия, как в коренных породах, так и в породах кор выветривания;

4) **Минералогические:** развитие минералов-носителей редких земель и иттрия: каолинита, гидромусковита и плагиоклаза в корах выветривания, а фундаменте – фосфата и циркония.

Наиболее общими критериями для поиска РЗЭ являются:

1. связь с гранитоидными и щелочными интрузивными комплексами, особенно с их пегматитами, контактово-метаморфическими и гидротермально-метасоматическими образованиями;

2. приуроченность месторождений к краевым частям интрузивных массивов и ослабленным тектоническим зонам;

3. наличие радиоактивных аномалий, что обусловлено геохимическим сродством редких земель и радиоактивных элементов;

4. тесная парагенетическая связь редкоземельной минерализации (особенно бастнезита, монацита) с магнетитом, что даёт возможность использовать для поисков месторождений РЗЭ магнитометрические методы;

5. возможность использования методов нейтронного каротажа, что обусловлено высокой способностью гадолиния и других РЗЭ поглощать медленные нейтроны;

6. наличие вторичных аномалий РЗЭ, в том числе в почвах, воде и растениях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований по теме: «Формы нахождения редких земель в корях выветривания месторождений Северного Казахстана и их 3D модели» получены следующие результаты:

Кундыбайское редкоземельное месторождение.

1. Месторождение приурочено к субмеридионально вытянутой полосе древних метаморфических пород мариновской свиты вдоль западного экзоконтакта Шевченковского ультраосновного массива. В пределах мариновской свиты метаморфические породы условно расчленены на три горизонта: верхний - кварцит-сланцевый, средний - амфиболитовый и нижний - гнейсовый. К наиболее распространенным породам относятся гнейсы - 58,8%; доля амфиболитов составляет 20,3%; сланцы - 17,9%. По ним соответственно повсеместно развита мезозойская кора выветривания.

2. Из редкоземельных минералов на микрозонде найден собственно редкоземельный минерал монацит - фосфат редких земель цериевой подгруппы в мусковит-кварцевом сланце. Монацит заключен в слюдистом минерале вдоль трещин его спайности. По результатам двух микрозондовых анализов установлены в одном анализе только РЗЭ цериевой группы (La, Ce, Pr, Nd), в другом в небольших концентрациях присутствует элементы иттриевой группы (Gd и Tb).

3. По данным полуколичественного спектрального анализа пород по корам выветривания, в сумме легкие элементы цериевого ряда преобладают над тяжелыми. Объясняется это повышенными концентрациями празеодима и неодима. В коре выветривания были найдены фторокарбонат кальция иттриевый-неодимовый паризит и иттриевый бастнезит, отнесенные к числу основных по данным изучения шлиховых проб. Здесь следует заметить полное отсутствие Ce_2O_3 в составе иттриевого, неодимового паризита по данным микрозондового анализа и значительные концентрации Nd_2O_3 .

4. По результатам изучения протолок к числу основных минералов в коренных породах был отнесен собственно редкоземельный минерал черчит, а также ряд редких и аксессуарных минералов магнетит, гематит, ильменит, рутил, пирит, халькопирит, титаномагнетит. По результатам изучения шлиховых проб коры выветривания к основным отнесены собственно редкоземельные минералы - иттриевый бастнезит и иттриевый-неодимовый паризит.

5. На каркасной модели месторождения Кундыбай были выделены следующие литологические слои: неоген-четвертичные отложения, кора выветривания, метаморфические породы. Рудовмещающими являются коры выветривания всех литологических разновидностей пород фундамента: амфиболиты, гнейсы, сланцы, которые четко различаются визуально. Визуализация форм рудных залежей показывает, что рудные залежи (их четыре) имеют вытянутую форму в меридиональном направлении.

Блочная модель месторождения и разрезы по разведочным профилям показывает, что особенности литологического строения месторождения предопределяют распределение содержаний суммы оксидов иттрия и редких земель в пространстве.

В вертикальном разрезе высокие их содержания наблюдаются в верхних горизонтах Первой и Четвертой залежей, где сосредоточена большая часть сланцев (60,2% и 19,7%) и коры выветривания по ним. Вторая залежь характеризуется наиболее равномерным распределением содержаний суммы оксидов иттрия и редких земель, в пределах данной залежи нет сланцев и коры выветривания по ним. В Третьей рудной залежи наблюдается увеличение содержаний суммы оксидов иттрия и редких земель с глубиной.

В горизонтальном разрезе определенной закономерности по распределению содержаний суммы оксидов иттрия и редких земель не наблюдается. Мощность рудной залежи по блочной модели оценивается в пределах от 40 до 80м.

Геостатический анализ показывает, что среднее содержание суммы оксидов иттрия и редких земель по месторождению Кундыбай составляет 344,3 г/т, где по данным ТОО «Асбестовое ГРП» - 350г/т.

6. Участок Талайрык. Талайрыкский участок площадью 28км, что находится в южной части Соуктальского массива, где установлена преимущественная концентрация редких земель цериевой группы, со значительным преобладанием ее на Кундыбае.

7. В исследуемом участке установлены важнейшие собственные минералы РЗЭ, которые можно выделить в особый ряд и которые пользуются наибольшим спросом в промышленности (фосфаты – монацит, рабдофанит; карбонаты – паризит, бастнезит, черчит). РЗЭ в качестве изоморфной примеси входили в породообразующие минералы, как в основные, так и второстепенные или акцессорные (ильменорутит, касситерит, вольфрамит, колумбит, лимонит, флюорит, гидрослюды, каолинит, К-На полевые шпаты, циркон, цоизит, висмутин, галенит, сфен, альмандин). На Талайрыке в цирконах с различной окраской и слюде установлены элементы-примеси Y и Nb.

8. Таким образом, гипергенные процессы привели часть неустойчивых минералов к рассеиванию и часть к накоплению в корах выветривания в виде собственных редкоземельных минералов (монацит, паризит, бастнезит) и в форме примесей в породообразующих и акцессорных минералах.

9. Результаты трехмерных моделей месторождения Талайрык показывают, что мощность коры выветривания на данном участке изменяется от 25 до 100 м. Наибольшая мощность коры выветривания отмечена в северо-восточной части рудного участка, где мощность гранитных массивов, по геофизическим данным, имеет максимальное значение. Здесь в коре выветривания основными минералами носителями **иттрия и редких земель** являются каолинит, гидромусковит и меньшей степени плагиоклаз. Если учесть среднее содержание составляющих кору выветривания, где кварц составляет –

40%, каолиний – 42%, серицит – 18%, то корой выветривания гнейсо-гранитов контролируется редкоземельная минерализация на участке Талайрык.

10. Результаты визуализации разрезов по содержанию РЗЭ показывают, что 7 разрезов из 10 исследованных на участке Талайрык имеют зон с повышенными их содержаниями и эти зоны занимают различные уровни в пределах коры выветривания гнейсо-гранитов. Рудные тела по разрезу имеют простую форму, в основном пластовую, но они отличаются по геометрическим параметрам. Самыми протяженными являются разрезы разведочных профилей 8,10,12,14. Мощность рудных тел в этих разрезах 3-4 раза больше чем в других разрезах данного участка. Это связано с мощностью коры выветривания в пределах этих профилей, где она достигает до 100 м.

11. Сделан геостатистический анализ, который является основой в выборе методики автоматизированного расчета средних содержаний. Содержания РЗЭ по блочной модели данного участка выше (640г/т), чем содержания (617г/т), указанные в отчетах АО «Тургайская геологоразведочная экспедиция» 1994г. Повышение суммарных содержаний РЗЭ можно связать с более высокоточной методикой расчета.

12. Результаты минералогических исследований и трехмерных модельных построений позволили установить следующие критерии прогнозирования редкоземельных месторождений гипергенного происхождения:

1) связь с гранитоидными и щелочными интрузивными комплексами, особенно с их пегматитами, контактово-метаморфическими и гидротермально-метасоматическими образованиями;

2) приуроченность месторождений к краевым частям интрузивных массивов и ослабленным тектоническим зонам;

3) наличие радиоактивных аномалий, что обусловлено геохимическим сродством редких земель и радиоактивных элементов;

4) тесная парагенетическая связь редкоземельной минерализации (особенно бастнезита, монацита) с магнетитом, что даёт возможность использовать для поисков месторождений РЗЭ магнитометрические методы;

5) возможность использования методов нейтронного каротажа, что обусловлено высокой способностью гадолиния и других РЗЭ поглощать медленные нейтроны.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Михайлов В.А. Редкоземельные руды мира. Геология, ресурсы, экономика. – Киев: Изд-во Киевский университет, 2010. -223 с.
- 2 De Sá Paye H., de Mello J.W.V. de Magalhães Mascarenhas G.R.L., Gasparon M. Distribution and fractionation of the rare earth elements in Brazilian soils // J. Geochemical Explor. – 2014. - №161. – P. 27–41 // doi:10.1016/j.gexplo.2015.09.003.
- 3 Бекжанов Г. Р., Раденко Н. Л., Иванов Л. Б., Ниязов А. Р. Редкие земли Казахстана // Геология и охрана недр. - Алматы, 2008. - №3(28). - С. 40-48.
- 4 Naumanbayev M., Lokhova N., Baltabekova Z. Classification of Raw Sources of Rare-Earth Elements in Kazakhstan // J. Mater. Sci. Eng. – 2013. - №3. – P. 326–330.
- 5 Charalampides G., Vatalis K.I., Apostoplos B., Ploutarch-Nikolas B. Rare Earth Elements: Industrial Applications and Economic Dependency of Europe // Procedia Econ. Financ. – 2015. - №24. – P. 126–135 // doi:10.1016/S2212-5671(15)00630-9.
- 6 Chen Z. Global rare earth resources and scenarios of future rare earth industry // J. Rare Earths. – 2011. - №29. – P. 1–6 // doi:10.1016/S1002-0721(10)60401-2.
- 7 Klinger J.M. A historical geography of rare earth elements: From discovery to the atomic age // Extr. Ind. Soc. – 2015. - №2. – P. 572–580 // doi:10.1016/j.exis.2015.05.006.
- 8 Binnemans K., Jones P.T., Blanpain B., Van Gerven T., Yang Y., Walton A., Buchert M. Recycling of rare earths: A critical review // J. Clean. Prod. – 2013. - №51. – P. 1–22 // doi:10.1016/j.jclepro.2012.12.037.
- 9 Grilli E., Colella A., oppola E., Langella A., Buondonno A. Modelling pedogenization of zeolitized tuff: effects of water and phenolic substances on weathering rates of the Campanian Ignimbrite (yellow facies) // Clay Miner. – 2011. - №46. – P. 311–327 // doi:10.1180/claymin.2011.046.2.311.
- 10 Исаева Л.Д., Кембаев М.К. Редкоземельные элементы в шеелитах верхнее Кайрактинского месторождения (Ц.Казахстан) // «Проблемы и перспективы развития геологического кластера: Образование – Наука - Производство» труды Межд.конф. посвященной 80-летию со дня рождения Каратая Турысова. – Алматы: КазНТУ им. К.И. Сатпаева, 2014. - С. 224-227.
- 11 Раденко Н.Л., Иванов Л.В., Тюгай О.М., Тилепова З.С. Новая редкоземельная провинция в Центральном Казахстане // Известия АН Каз ССР, сер.геол. – 1991. - №5. - С. 3-17.
- 12 Бетехтин А.Г. Минералогия. - М., 1950, 956 с.
- 13 Исаева Л.Д., Дюсембаева К.Ш., Кембаев М.К., Юсупова У., Асубаева С.К. Формы нахождения редкоземельных элементов в коре выветривания месторождения Кундыбай (Северный Казахстан) // Известия НАН РК Серия геологии и технических наук. - Алматы, 2015. – Vol. 2, №410. – P. 23-30.
- 14 Омирсериков М.Ш., Исаева Л.Д., Дюсембаева К.Ш., Кембаев М.К., Асубаева С.К. Редкие земли в коре выветривания месторождения Кундыбай (Северный Казахстан) // Вестник Восточно-Казахстанского государственного

технического университета им. Д. Серикбаева. – 2016. - №3. – С. 32-40.

15 Исаева Л.Д., Дюсембаева К.Ш., Кембаев М.К., Юсупова У. Редкоземельные элементы и формы их нахождения в коре выветривания рудопроявления Талайрык (Северный Казахстан) // Известия НАН РК Серия геологии и технических наук. - Алматы, 2015. – Vol. 6, №414. – С. 57-65.

16 Gong J., Cheng P., Wang Y. Three-dimensional modeling and application in geological exploration engineering // Comput. Geosci. – 2004. - №30. – P. 391–404 // doi:10.1016/j.cageo.2003.06.003.

17 Wu Q., Xu H., Zou X. An effective method for 3D geological modeling with multi-source data integration // Comput. Geosci. – 2005. - №31. – P. 35–43 // doi:10.1016/j.cageo.2004.09.005.

18 Wang G., Pang Z., Boisvert J.B., Hao Y., Cao Y., Qu J. Quantitative assessment of mineral resources by combining geostatistics and fractal methods in the Tongshan porphyry Cu deposit (China) // J. Geochemical Explor. – 2013. - №134. – P. 85–98 // doi:10.1016/j.gexplo.2013.08.004.

19 Emery X. Ordinary multigaussian kriging for mapping conditional probabilities of soil properties // Geoderma. – 2006. - №132. – P. 75–88 // doi:10.1016/j.geoderma.2005.04.019.

20 Luo Z., Xiao-ming L., Jia-hong S., Ya-bin W., Wang-ping L. Deposit 3D modeling and application // J. Cent. South Univ. Technol. – 2007. - №14. – P. 225–229 // doi:10.1007/s11771-007-0045-9.

21 Zanchi A., Francesca S., Stefano Z., Simone S., Graziano G. 3D reconstruction of complex geological bodies: Examples from the Alps. Comput // Geosci. – 2009. - №35. – P. 49–69 // doi:10.1016/j.cageo.2007.09.003.

22 Fallara F., Legault M., Rabeau O. 3-D Integrated Geological Modeling in the Abitibi Subprovince (Quebec, Canada): Techniques and Applications // Explor. Min. Geol. – 2006. - №15. – P. 27–43 // doi:10.2113/gsemg.15.1-2.27.

23 Дворцова К.И. Отчет по геологическим исследованиям в Верхне-Тобольском районе в 1937г. - Фонды ТУ “Севказгеология”, 1938.

24 Литвин П.А. и др. Окончательный отчет Джетыгаринской партии о съемочно-поисковых работах 1953-58гг. Геологическая карта СССР м-б 1:200 000, листы М-41-II, N-41-XXXII, N-41-XXXIII. - Фонды ТУ “Севказгеология”, 1958.

25 КГМК (Киргизский горно-металлургический комбинат). Протокол техсовета от 6 сентября 1976 г. “Результаты опытов по переработке трех проб черчитовых концентратов Кундыбайского месторождения”. Пос. Орловка, Киргизская ССР, Фонды КГМК, ТУ “Севказгеология”, Мингео КазССР. - Минцветмет СССР, 1976.

26 Мальченко Е. Г., Ахметов К. С., Карепова И. П., Топоев А. Н., Селифонов С. Е., Тетерина В. В. и др. Отчет с подсчетом запасов никель-кобальтовых руд Шевченковского месторождения на 01. 01. 2005 г. - Фонды ТОО «ГРК Казахстанский никель», 2005.

27 Круглов А. И., Швидь Н. Т. Шевченковское месторождение силикатных кобальт-никелевых руд в Кустанайской области. – ВГФ; ТГФ; Фонды ТУ “Севказнедра”, 1967.

28 Бакулин А.П. и др. Разработка комплекса мер, обеспечивающих рациональную отработку запасов Джетыгаринского месторождения хризотил-асбеста и установление оптимальных параметров горных и отвальных работ: отчет о НИР. - Свердловский горный институт; Фонды АО «Костанайские минералы», 1990.

29 ГКЗ СССР. Сборник руководящих материалов по геолого-экономической оценке месторождений полезных ископаемых. Инструкция по применению Классификации запасов к россыпным месторождениям полезных ископаемых. - С. 507-542.

30 Ниязов А.Р. Промежуточный отчет о результатах поисковых работ на титан в Джетыгаринском районе Кустанайской области за 1962-65гг. - Фонды ТУ «Севказгеология»; ВГФ; РГФ, 1965.

31 Ниязов А.Р. Титаноносные коры выветривания Джетыгаринского рудного района: дис. ... канд. техн. наук: 04.00.14. - Алма-Ата: КазНТУ (ранее КазГМИ), 1973. - 88 с.

32 Шайдулин Ф.Ф., Фабрый А.С., Тушинская А.Ф. Проект на предварительную разведку Кундыбайского месторождения редких земель на 1983-86 гг. – Джетыгаринская: ГРЭ СКТГУ, 1986.

33 Стряпков А.В., Шарипов М.Ш. Опытные-промышленные испытания технологии гидрохимического обогащения редкоземельной руды Кундыбайского месторождения – ХМИ АН КазССР. - Караганда: Фонды ТУ «Севказгеология», 1987.

34 Гачкевич И.В., Белых М. П. Поисково-оценочные работы на золото на Южно – Аккаргинском участке и на флангах Южно-Леонидовского и Аккаргинского участков: отчет о результатах работ, проведенных в 1990-96 гг.

35 Джафаров Н.Н., Каскевич Т.М., Джафаров Ф.Н. и др. Геолого-экономическая оценка запасов иттрия и редких земель Кундыбайского месторождения по состоянию на 01.09. 2011 г. – Житикара; Кустанайская обл.: ТОО ГРК «Кондыбай», 2011, 214 с.

36 Боревский Б.В., Самсонов Б.Г., Язвин Л.С. Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек. - М.: Недра, 1979.

37 Ниязов А.Р., Джафаров Н.Н., Джафаров Ф.Н. Кундыбайское месторождение титана // Горно-геологический журнал. - Житикара, 2007. - №2. - С.10-15.

38 Бекмухаметов А.Е., Ниязов А.Р. Геологические перспективы создания собственной сырьевой базы титановой промышленности Казахстана // Изв. АН КазССР. - Алматы, 1992. - №6. - С. 3–7.

39 Джафаров Н.Н., Джафаров Ф.Н. Полезные ископаемые Джетыгаринского рудного района (Костанайское Зауралье). – Алматы: Алем, 2002. - 244 с.

40 Джафаров Н.Н., Каскевич Т.М. Проект на проведение геологоразведочных работ по разведке иттрия и редких земель на Кундыбайском месторождении в Кустанайской области на период 2011 г. Контракт №115, лицензия серии МГ № 773 от 11 декабря 1995 г. - Фонды АО «Кундыбай», 2011.

41 Ниязов А.Р., Щербин С.С. Древние золотоносные коры выветривания сланцев на Южном Урале // Геология и поиски месторождений редких и цветных металлов. - Свердловск, 1971. - Вып. 1. - С. 85-88.

42 Ниязов А.Р., Искужин С.М. Перспективы использования СГТ для разведки и добычи новых типов руд цветных, редких и благородных металлов в корях выветривания Северного Казахстана // Сб. Первый советско-югославский симпозиум по проблеме скважинной гидравлической технологии. - М., 1991. - С. 24-25.

43 Ниязов А.Р. Геологическая записка “Кундыбайское титан-иттрий-редкоземельное месторождение (Республика Казахстан, Костанайская область)”. - Фонды АО “Кундыбай”, 2010. - 15 с.

44 Габель Ф.И., Белых М.П. Отчет о результатах поисково-оценочных работ на Комаровском месторождении золота в Кустанайской области за 1989-94 г.г. - Фонды «Севказнедра», 1994.

45 Ниязов А.Р., Брылин М.Д. Сводный отчет о результатах поисковых работ на титан в Джетыгаринском районе Кустанайской области за 1962-68 гг. - Фонды ТУ “Севказгеология”; ВГФ; РГФ, 1968.

46 Ниязов А.Р., Брылин М.Д. Кундыбайское месторождение. Металлогения Казахстана, рудные формации. Месторождения руд хрома, титана, ванадия, силикатного никеля и кобальта, бокситов. - Алма-Ата: Институт геологических наук АН КазССР, 1978. - С. 44-47.

47 Borghi A., Spiess R. Studying metamorphic microstructures: a brief insight on modern methodological approaches // Period. di Mineral. – 2004. - №4. – P. 235–247.

48 Gougazeh M., Buhl J.C. Geochemical and mineralogical characterization of the Jabal Al-Narad kaolin deposit, southern Jordan, for its possible utilization // Clay Miner. - 2010. - №45. – P. 301–314 // doi:10.1180/claymin.2010.045.3.301.

49 Yanik G. Mineralogical, crystallographic and technological characteristics of Yaylayolu kaolin (Kütahya, Turkey) // Clay Miner. – 2011. - №46. – P. 397–410 // doi:10.1180/claymin.2011.046.3.397.

50 Ниязов А.Р. Справка “Кундыбайское титан-иттрий-редкоземельное месторождение в Костанайской области Республики Казахстан ”. – Алматы: Фонды АО “Кундыбай”, 2007. - 2 с.

51 Шайдулин Ф.Ф., Чернышев В.Г., Сухонос Л.В. Отчет о результатах поисково-оценочных работ на Кундыбайском месторождении редких земель в Джетыгаринском районе Кустанайской области (1975-1981 гг.). - Джетыгаринская ГРЭ: СКТГУ, 1981.

52 Ниязов А.Р. Бизнес-план по реализации проекта “Освоение Кундыбайского титан-иттрий-редкоземельного месторождения в Костанайской области Республики Казахстан”. – Алматы: Фонды АО “Кундыбай”, 2006. - 22 с.

53 Информационные отчеты АО “Кундыбай” (годовые и квартальные) за период проведения геологоразведочных работ на Кундыбайском месторождении с госстатотчетностью по форме 1-ЛКУ. - Фонды ТУ “Севказнедра”; Фонды АО “Кундыбай”, 1996-2010.

54 Omirserikov M., Dyussebayeva K., Isayeva L., Kembayev M., Assubayeva S. Forms of occurrence of rare earth elements in the weathering crust of Kundybay deposit (North Kazakhstan) // 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM (Science and technologies in Geology, Exploration and Mining). – Bulgaria, 2015. – Vol. 1. - P. 159-166 // doi:10.5593/SGEM2015/B11/S1.021.

55 Давыдов Г.И., Студенцов В. В., Абишев Д.Н., Петров А. А. Обогащение иттрий-редкоземельных руд Кундыбайского месторождения // Сб. “Извлечение редкоземельных металлов из полиметаллических руд и техногенного сырья”, Казмеханообр. - Алматы, 1998. – С. 132-141.

56 Шарипов М.Ш., Дюсембаева Ш.Е. Разработка технологии обогащения редкоземельного сырья Кундыбайского месторождения. – Караганда: Фонды ХМИ и ТУ “Севказгеология”; ХМИ АН КазССР, 1982.

57 Минеев Д. А. Лантаноиды в рудах редкоземельных и комплексных месторождений. - М.: Наука, 1974. - 286 с.

58 Раденко Н.Л. Редкоземельные элементы на редкометалльных месторождениях Казахстана. - Алматы, 1998. – 251 с.

59 Omirserikov M. Sh., Kembayev M.K., Issayeva L.D., Dyussebayeva K.Sh., Ewa Slaby, Assubayeva S.K. Mineralogy and structural model of the weathering crust of Kundybay deposit (North Kazakhstan). News of National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan // Series of geology and technical sciences. - 2016. - Vol. 6, №420. – P. 39-50.

60 Ниязов А.Р. Барьерно-хроматографическая модель рудогенеза при формировании кор выветривания // Вопросы экзогенной минерализации Казахстана. - Алма-Ата, 1986. - С. 80-88.

61 Минеев Д.А. Лантаноиды в минералах. - М.: Недра, 1969.

62 Редкоземельные элементы. Требования промышленности к качеству минерального сырья. - М.: Госгеолтехиздат, 1959. - Вып. 51. - 60 с.

63 Ниязов А.Р., Михайлов А.К. Черчит из коры выветривания Шевченковского метаморфического комплекса // Сб. Минералогия и петрография Урала. – Свердловск: Горный институт, 1975. - Вып. 106. - С. 149-151.

64 Джафаров Н.Н., Каскевич Т.М. Ресурсная база редкоземельных металлов в Джетыгаринском рудном районе // Горно-геологический журнал. – 2013. – №1-2 (33-34). – С. 33-37.

65 Месторождения редких металлов и редких земель Казахстана // Справочник. - Алматы, 1998. -102 с.

66 Семенов Е.И. Минералогия редких земель. – М.: Издательство Академии Наук СССР, 1963. – 411 с.

67 Вальков А.В. Разработка технологии извлечения редкоземельных элементов из рудных концентратов месторождения «Кундыбай». – М.: Московский инженерно-физический институт (МИФИ); Фонды ТОО “Кундыбай”, 1998.

68 Вальков А.В. Разработка технологии извлечения редкоземельных элементов из мелкозернистой и обогащенной по редким землям фракции руды

месторождения “Кундыбай”. – М.: Московский инженерно-физический институт (МИФИ); Фонды ТОО “Кундыбай”, 1996.

69 Вальков А.В. Полная, замкнутая технология извлечения редкоземельных элементов из руды месторождения “Кундыбай”. - М.: МИФИ; Фонды ТОО “Кундыбай”, 1998.

70 Бурков В.В. Коры выветривания осадочно-метаморфических пород с рабдофанитом и черчитом // Сб. Месторождения литофильных редких металлов. – М., 1980. - С. 394-396.

71 Подпорина Е.К., Ниязов А.Р., Брылин М. Д. Новый тип редкоземельных месторождений в корах выветривания // Сб. Экзогенные месторождения редких элементов. - Институт минералогии, геохимии редких элементов (ИМГРЭ). - М., 1980. - С. 21-26.

72 Ряховский С.М. и др. Разработка технологии доводки редкоземельных концентратов месторождения “Кундыбай”. – М.: Фонды ТОО “Кундыбай”; ВНИИХТ; Всероссийский институт химической технологии, 1996.

73 Xiao Y., Huang L., Long Z., Feng Z., Wang L. Adsorption ability of rare earth elements on clay minerals and its practical performance // J. Rare Earths. – 2016. - №34. – P. 543–548 // doi:10.1016/S1002-0721(16)60060-1

74 Zhu L., He Z., Pan X., Wu X. An Approach to Computer Modeling of Geological Faults in 3D and an Application // J. China Univ. Min. Technol. – 2006. - №16. – P. 461–465 // doi:10.1016/S1006-1266(07)60048-0.

75 Демьяненко А.Л. и др. Отчет о результатах поисково-оценочных работ в пределах участка Талайрыкский, Аркалыкская партия 1991-1994 г.г. - Костанай, 1994. - Книга 1. –140 с.

76 Пыльнов Н.П. Проект на проведение поисково-оценочных работ в пределах участка Талайрыкский. - Фонды ТГРЭ, 1991.

77 Геология СССР, Т. XXXIV. Тургайский прогиб. Геологическое описание. - М.: Недра, 1971. – Книга - 1. - 536 с.

78 Сахаров В.А., Захаров А.М., Фальков Ю.Г. Геологическая карта Казахской ССР. Масштаб 1:500 000, лист №41-В. М. - 1979.

79 Геология СССР. / под ред. Захарова А.М., Удриса К.П. Тургайский прогиб, геологическое описание. - М.: Недра, 1971. – Книга 2, т. 34. - 312 с.

80 Сахаров В.А. Коры выветривания северной части Тургайского прогиба // Сб. Кора выветривания Урала. – Саратов: Изд. Саратовского университета, 1969. С. 35-42.

81 Ксенофонтов О.К. Магматические и рудные формации Западного Тургая // Вестник ЛТУ. - 1970. - Вып. 2. - С. 97-110.

82 Кембаев М.К. Изучение геолого-структурных особенностей редкоземельного участка Талайрык // Материалы международной научно-практической конференции «Геология, минерагения и перспективы развития минерально-сырьевых ресурсов Республики Казахстан», посвященной 75-летию. – Алматы: Института геологических наук им. К.И. Сатпаева, 2015. - С. 280-282.

83 Казаков А.А. и др. Геолого-структурные и минералого-петрографические исследования редкоземельного оруденения в корах выветривания и органогенных

бокситосодержащих глинах Тургайского прогиба: отчет по теме 703-С2. - Фонды ТГРЭ, 1990.

84 Ивлев А.И., Рапопорт М.С. Новое в тектоническом районировании приграничных областей Казахстана и России (доменного фундамента Тургайского прогиба и Курганского Зауралья) // Топорковское чтение. - Рудный, 2001. - Вып. 5. - С. 72-83.

85 Ивлев А.И., Самохвалов В.А., Шестак Г.И. К оценке перспектив Валерьяновской структурно-формационной зоны Тургайского прогиба на медь, полиметаллы. – Там же, – С. 84-109.

86 Омирсериков М.Ш., Исаева Л.Д. Геолого-динамическая модель формирования редкометалльных месторождений Центрального Казахстана. – Алматы: Нурай Принт Сервис, 2010. - 215 с.

87 ТУ 48-4-236-72 Концентрат ильменитовый.

88 Li C.S., Shi X.F., Kao S.J., Liu Y.G., Lyu H.H., Zou J.J., Liu S.F., Qiao S.Q. Rare earth elements in fine-grained sediments of major rivers from the high-standing island of Taiwan // J. Asian Earth Sci. – 2013. - №69. – P. 39–47 // doi:10.1016/j.jseaes.2013.03.001.

89 Щерба Г.Н. Формирование редкометалльных месторождений Центрального Казахстана. - Алма-Ата: Наука, 1960. – 381 с.

90 Омирсериков М.Ш., Исаева Л.Д., Асубаева С.К., Кембаев М.К. Изучение особенности литологического строения участка Талайрык. - North Charleston; USA: Science in the modern information society, 2015. - Vol. 2. - P. 12-16. 2015.

91 Омирсериков М.Ш., Исаева Л.Д., Slaby Ewa, Кембаев М.К. Трехмерные каркасные модели участка Талайрык // Вестник КазНУТУ Науки о Земле. - Алматы, 2016. - №1. - С. 9-14.

92 Кембаев М.К. Построение трехмерной каркасной модели литологического строения и рудного тела редкоземельного участка Талайрык. Международные Сатпаевские чтения – 2015 «Роль и место молодых ученых в реализации новой экономической политики Казахстана». – Алматы: КазНУТУ им. К.И. Сатпаева, 2015. - С. 182-184.

93 Исаева Л.Д. Эволюция модельных построений и их роль в прогнозировании месторождений полезных ископаемых // Промышленность Казахстана. - Алматы, 2010. - С. 77-80.