

Санкт-Петербургский государственный университет

**КНЯЗЕВА Екатерина Александровна**

**Выпускная магистерская диссертация**

**Типоморфные особенности минералов группы граната вольфрамового  
месторождения Северный Катпар (Центральный Казахстан)**

Направление 05.04.01 «Геология»

Основная образовательная программа магистратуры ВМ.5515.2020 «Геология»

Научный руководитель:

к.г.-м.н., доцент Петров С.В.

Научный соруководитель:

аспирант Родионова А.В.

Рецензент:

к.г.-м.н., Выдрич Д.Е.

Санкт-Петербург, 2022

## Оглавление

Введение.....	3
1. Состояние проблемы и методы исследований типоморфизма.....	8
2. Геологическая характеристика района исследований.....	13
2.1 Геологическая изученность.....	13
2.2 Региональная позиция района.....	13
2.3 Геологическое строение района исследований.....	16
2.4 Геологическое строение Акмая-Катпарского рудного поля.....	19
2.5 Геологическое строение месторождения Северный Катпар.....	22
3. Минералого-петрографическая характеристика пород и руд месторождения.....	28
3.1 Геологическая характеристика рудовмещающих толщ.....	28
3.2 Петрографические особенности пород.....	32
3.3 Вещественный состав рудной минерализации.....	39
4. Петрохимические характеристики пород и руд.....	46
5. Типоморфные особенности минералов группы граната.....	50
5.1 Особенности строения гранатов на месторождении.....	50
5.2 Распределение рудных компонентов в гранатовых скарнах.....	55
Приложение 1.....	58
Средний химический состав минералов грейзеновой, ранне- и позднегидротермальной стадий.....	58
Приложение 2.....	59
Химический состав минералов висмута.....	59
Приложение 3.....	61
Химический состав минералов титана и урана.....	61
Приложение 4.....	64
Химический состав минералов вольфрама (шеелит, молибдошеелит, вольфрамит).....	64
Приложение 5.....	69
Химический состав гранатов к рисунку 34.....	69
Приложение 6.....	72
Формульные коэффициенты гранатов из зоны скарнирования (380-500 метров), выраженные в весовых процентах.....	72
Литература.....	82

## Введение

Данная научно-исследовательская работа посвящена изучению типоморфных характеристик минералов группы граната скарново-шеелитовых руд на вольфрамовом месторождении Северный Катпар, расположенного в Центральном Казахстане Карагандинской области, для выявления эффективных минералогических поисково-оценочных критериев и признаков.

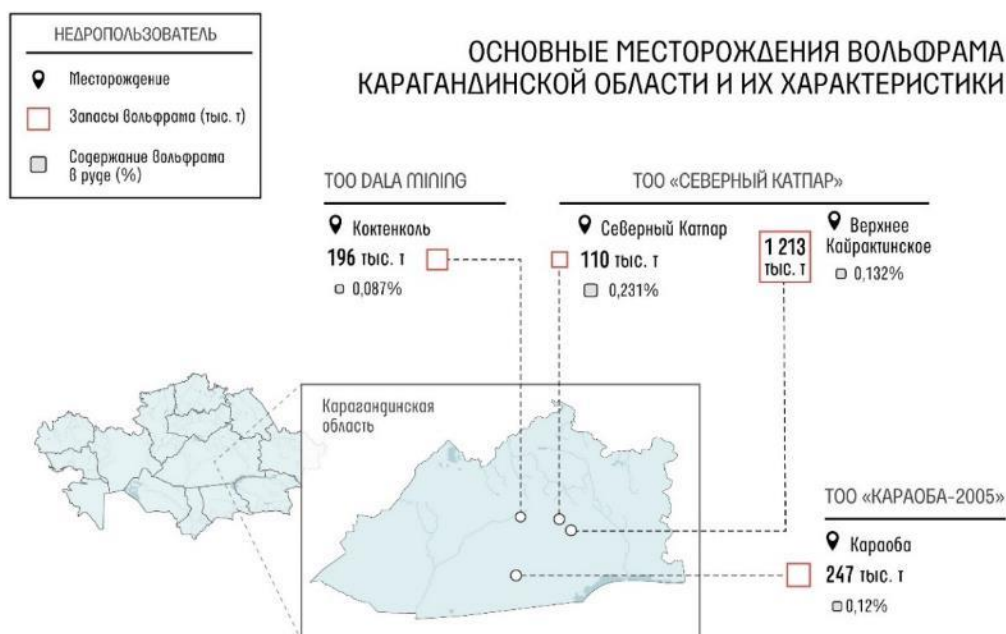
**Актуальность работы** заключена в исследовании новых возможностей использования минеральных индикаторов на месторождении Северный Катпар, для распознавания формационной принадлежности руд и пород, а также для поисков и оценки перспектив месторождений, на основе изучения состава, структуры, свойств и морфологии минералов группы граната, в связи с дефицитностью и дороговизной вольфрамового сырья.

**Цели и задачи работы.** Целью данной работы является определение закономерностей изменений типоморфных свойств гранатов скарново-шеелитовых руд, как одного из поисковых признаков.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Изучение состояния проблемы и методов исследований типоморфизма;
2. Изучение геологического строения района исследований;
3. Изучение минерального состава пород, руд и установление стадий минерализации;
4. Установление закономерностей распределения полезных компонентов на основе изучения петрохимических данных;
5. Изучение типоморфных характеристик минералов группы граната по литературным данным и месторождению Северный Катпар;

**Объект исследования.** Месторождение Северный Катпар, административно, расположено в Шетском районе на границе с Агадырским районом Джезказганской области Республики Казахстан (Рис.1).



**Рис. 1. Основные месторождения вольфрама Карагандинской области и их характеристики.**  
**Источник:** комитет геологии министерство экологии, геологии и природных ресурсов РК и его территориальный департамент, АО «НГК «Тау Кен Самрук»

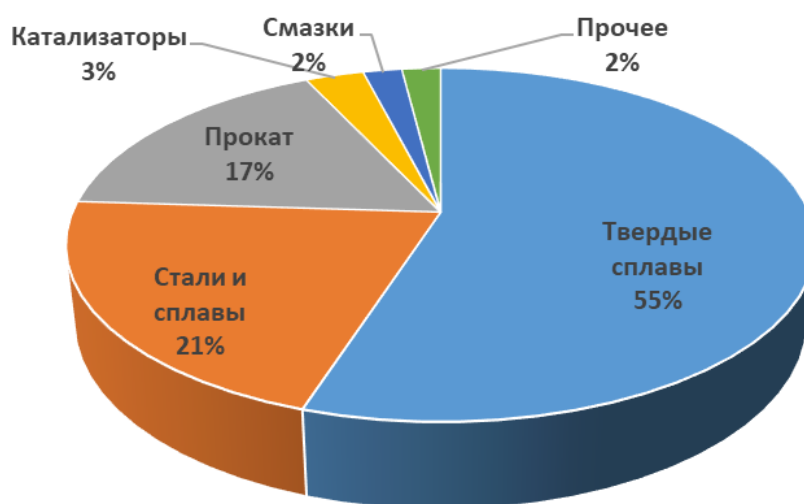
Рудное поле месторождения (Акмая-Катпарская рудная зона) имеет площадь 22,5 км<sup>2</sup>. В пределах этого поля располагаются такие месторождения, как: Северный Катпар, Акмая, рудопроявления Западный Катпар, Северо-Восточный Катпар, Домеке, Западное Домеке и Бибигуль.

Говоря про экономическую освоенность района месторождения, стоит отметить, что в Дзезказганской области присутствует два экономических профиля: промышленно-аграрный и аграрный. К первому профилю относится Агадырский район, в пределах которого сосредоточены горнодобывающие предприятия (рудники Акчатау, Акжал, им. Джамбула). Ко второму профилю относится Шетский район. Несмотря на то, что территориально Северный Катпар находится в Шетском районе, экономически месторождение больше тяготеет к Агадырскому району и рассматривается совместно с месторождениями Верхние-Кайракты и Коктенколь как один горнорудный район. (О детальной...,1994).

Основным промышленным компонентом руд месторождения Северный Катпар является вольфрам, единственная минеральная форма которого в гипогенных рудах – шеелит. Шеелитовые руды считаются труднообогатимыми и сложными по составу, по сравнению с вольфрамитовыми легкообогатимыми рудами, которые являются более востребованными. В природе, однако, вольфрамитовые руды встречаются не так часто, по сравнению с шеелитовыми, которые распространены намного шире.

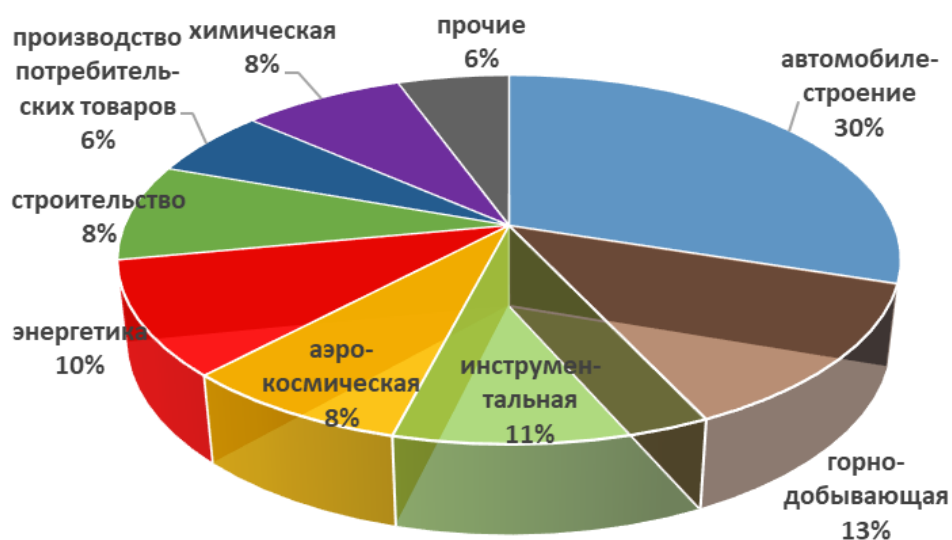
Руды месторождения Северный Катпар считаются комплексными. В качестве попутных компонентов встречаются: молибден, висмут, медь, сера пиритная, тантал, ниобий, которые бывают, представлены как самостоятельные минералы, так и в виде изоморфных примесей.

Главной сферой использования вольфрама является производство твердых сплавов (55% спроса на вольфрамовое сырье). Остальное употребляется в производстве легированных сталей и суперсплавов, вольфрамового проката, химических катализаторов, высокотемпературной смазки и др. (Рис. 2).



**Рис. 2. Сферы использования вольфрамового сырья.**

Отрасли, которые используют вольфрамовую продукцию показаны на рисунке 3. К ним относятся: автомобилестроение, горнодобывающая, инструментальная, аэрокосмическая, строительство, химическая, энергетическая отрасли.



**Рис. 3. Отрасли, потребляющие вольфрамовое сырье.**

**Фактический материал.** В основу магистерской работы положены образцы, отобранные с различным интервалом от 1 до 7 метров из керна геологоразведочной скважины №15 с глубин от 90 до 500 м и скважины №20 с глубин от 39 до 510 м. Из отобранных образцов изготовлены аншлифы в количестве 98 штук, шлифы в количестве 122 штуки, прозрачно-полированные шлифы (ППШ) в количестве 43 штуки.

Для достижения поставленных задач применялись следующие методы:

- Рентгенофлуоресцентный анализ при помощи портативного XRF Olympus Vanta (ЛИМС);
- Инфракрасная спектроскопия при помощи портативного инфракрасного анализатора ASD TerraSpec (ВИМС);
- Порошковая рентгеновская дифракция (СПБГУ);
- Сканирующая электронная микроскопия (СПБГУ);
- Люминесценция в длинноволновом и коротковолновом ультрафиолетовом излучении (СПБГУ);

Все материалы с изучаемой площади предоставлены ТОО «Северный Катпар». Аншлифы и шлифы изготовлены в мастерских СПБГУ и ЛИМС. Аншлифы были проанализирована с помощью:

1. Настольного сканирующего электронного микроскопа-микроанализатора TM 3000 (НИТАСНІ, Япония, 2010) и Системы со сфокусированными электронным и ионным зондами QUANTA 200 3D (FEI, Нидерланды, 2006) для изучения урановой минерализации. Исследования были предварительными и проводились на базе Научного парка Санкт-Петербургского государственного университета в РЦ «Центр микроскопии и микроанализа».

2. Сканирующего электронного микроскопа «Hitachi S-3400N» с энергодисперсионным спектрометром «Oxford Instruments X-Max 20» с Si полупроводниковым детектором. Исследования проводились на базе Научного парка Санкт-Петербургского государственного университета в РЦ «Геомодель».

По итогу было просмотрено и описано 99 аншлифов, 122 шлифов и 43 ППШ при помощи поляризационного микроскопа LEICA DM4500 P LED. Исследования проводились на базе Научного парка Санкт-Петербургского государственного университета в РЦ «Рентгенодифракционные методы исследования».

В работе были использованы программы CorelDRAW, STATISTICA, Microsoft Excel 2013.

**Научная новизна.** Исследования выполнены на материале скважин, пробуренных в 2018-19 гг. с целью заверки геологоразведочных данных 1980-90-х годов. Материал для

исследований вещественного состава руд и типоморфных характеристик минералов получен впервые за последние 30 лет. Скважины №15 и №20 пробурены специально для подсечения рудоносного гранитного массива. Материал для исследований гранитов получен впервые. Методы, использованные для изучения вещественного состава руд, являются современными и до сих пор не применялись для руд данного состава.

**Структура и объем работы.** Выпускная магистерская диссертация объемом в 82 страницы состоит из: введения, пяти глав и заключения, содержит 36 рисунков, 2 таблицы и 2 диаграммы в тексте и 6 приложений. Список использованной литературы включает 13 наименований и 1 наименование из фондовой литературы.

**Благодарности.**

Автор работы выражает искреннюю благодарность генеральному директору ТОО «Северный Катпар» Морозову Ф.П., главному технологу Г.К. Кулмухамедову, главному технологу Б. Оспанову, геологам М. Казбекову, А. Лигаю. А также А.А. Пестрикову (ООО ИМР), научному руководителю Петрову Сергею Викторовичу и соруководителю Родионовой Анастасии Владимировне за консультации и помощь при написании работы, Березину Алексею Васильевичу за консультации и полезные советы, Волковой Елене Викторовне за помощь при подсчете химического состава минералов, Янсон Светлане Юрьевне за помощь при проведении зондового анализа.

## 1. Состояние проблемы и методы исследований типоморфизма

Исследования по проблеме типоморфизма минералов и минеральных ассоциаций изучаются не первое десятилетие и занимают ведущее положение в генетической минералогии. Во многих учебниках минералогии и в минералогических справочниках вопросы типоморфизма почти не затрагиваются. Накопленный за последние годы фактический материал по типоморфизму отдельных минералов и их групп долгое время не анализировался с точки зрения возможности его использования для выявления минералов индикаторов оруденения.

Под типоморфизмом минералов понимают способность минеральных индивидов, агрегатов и ассоциаций отражать в характерных особенностях своего состава, морфологии (габитус кристаллов, двойники, характер агрегатов и др.), структурно-текстурного облика (степень упорядоченности структур минералов, различие в структурах полимонов и т. д.), кристаллического строения, кристаллохимии, физических свойств (плотность, микротвёрдость, отражательная способность, люминесценция, электрические, магнитные и др.), микровключений, продуктов изменения различные геологические и физико-химические условия, в которых протекали процессы минералообразования и последующее существование минералов в природе (Типоморфизм..., 1989). Таким образом, типоморфные свойства и признаки минералов непосредственно характеризуют условия их образования (геотермометры и геобарометры) и особенности минералообразующей среды (вариации щёлочности — кислотности среды, парциального давления газов, состава растворов или расплавов и др.).

Полное определение понятие «типоморфизм» впервые дал А.Е. Ферсман (1932-1940 гг.), включив в него не только специфические минералы и их ассоциации (индикаторы генезиса руд и пород), но и варьирующие особенности сквозных минералов, которые содержат наибольший объем генетической информации, так как их образование происходит в широком диапазоне физико-химических условий (кварц, кальцит, флюорит, циркон). В связи с этим расширились возможности развития генетической минералогии, которые определили формирование учения о типоморфизме минеральных образований.

Интерес к вопросам типоморфизма минералов стимулируется тем, что с получением новых данных о зависимости состава, структуры, свойств и морфологии выделений минералов от условий пороодо- и рудообразования открываются новые возможности для решения многих практических задач (при оценке степени рудоносности горных пород, поисках рудных месторождений некоторых типов, определении промышленного значения рудопроявлений, при поиске скрытых рудных тел и т. д.).



По определению В. И. Вернадского: «минералы представляют собой продукты химических реакций, протекающих в земной коре». Было бы невозможно сказать про условия образования минералов, если бы они были идеальными химическими соединениями с идеальной кристаллической структурой, поскольку одни и те же соединения могут возникать разными путями в результате различных химических реакций.

В понятие типоморфизма можно отнести следующие критерии:

1. Непостоянство состава минералов. Это связано с тем, что применение точных методов анализа показывает, что состав одних и тех же минералов, взятых из разных месторождений, варьирует. Вариации также отмечаются даже для разных генераций одного минерала из одного месторождения: проявление в изменении состава минералов зависит от их положения в зональности (вертикальной и латеральной) на месторождении. Изменение температуры, давления, влияние геохимических особенностей провинции также оказывают влияние на состав.

2. Нестехиометричность состава минералов. Минералы, представляющие соединения тяжелых металлов с серой, мышьяком, сурьмой, а также минералы, содержащие в качестве анионов летучие компоненты (фтор, гидроксил и др.), имеют отклонения от стехиометрии, избыток или дефицит анионов, что в свою очередь приводит к возникновению дефектов (вакансии в катионной и анионной подрешетках). Нестехиометричность состава одного и того же минерала может зависеть от условий его образования (генетического типа месторождения, зональности и т. д.) (Типоморфизм..., 1989).

3. Структурные и примесные дефекты минералов. Кристаллическая структура природных минералов по степени совершенства заметно отличается от структуры идеальных кристаллов наличием многочисленных искажений, что в свою очередь влияет на окраску, люминесценцию, магнитные свойства минералов и т. д.

4. Кристалломорфологическая эволюция и онтогенез минералов. Изучение изменения морфологии выделений позволило выявить закономерности пространственно-временной изменчивости форм минералов — эволюционные кристалломорфологические ряды. Наблюдения над ложными и искаженными, скелетными, нитевидными и скрученными формами кристаллов, скульптурой граней, фигурами роста и растворения, дают ценную генетическую информацию.

Д. П. Григорьев разработал направление учения о типоморфизме — онтогенетическое. Онтогенетические наблюдения над минеральными индивидами, такие как характер зарождения, признаки роста, зональное и секториальное строение, взаимоотношения с другими индивидами, а также наблюдение над минеральными агрегатами позволяют

выявить механизм образования кристаллов и проследить дальнейшую историю их существования.

Современные методы физики твердого тела в минералогических исследованиях нашли широкое применение, том числе непосредственно в полевой обстановке или в условиях производственных минералогических и аналитических лабораторий. Самые тонкие особенности состава, структуры и свойств минералов помогают определить следующие методы:

- электронная микроскопия высокого разрешения;
- электронно-зондовый рентгеноспектральный микроанализ;
- оптическая (инфракрасная — колебательная и рамановская — комбинационного рассеяния) и люминесцентная спектроскопия (фото-, рентгено-, термолюминесценция);
- электронная и ядерная магнитная спектроскопия (резонансные радиочастотные методы — ЭПР, ДЭЯР, ЯМР, ЯКР);
- мессбауэровская (ЯГР) и фотоэлектронная спектроскопия;
- группа физико-химических методов (термический анализ, термобарогеохимические методы, определение растворимости и селективной растворимости минералов и т. д.);

Особенности состава, свойств, строения и формы минералов отчетливо выражают связь с условиями образования и последующими преобразованиями минералов. По типоморфным особенностям минералов можно извлечь генетическую информацию, то есть определить условия их образования и дальнейшей истории, используя современные методы исследования.

Генетическая информация представляет большую ценность не только в определении условий образования минералов, но и в прикладном плане, поскольку эта информация может быть широко использована для решения целого ряда практических задач, связанных с определением направлений геологоразведочных работ и геологическим прогнозированием, — начиная от установления формационного типа оруденения при поисках и вплоть до технологического прогнозирования (Типоморфизм..., 1989).

В последнее время развилась поисковая минералогия, целью которой является выявление эффективных минералогических поисково-оценочных критериев и признаков (в том числе применительно к поискам скрытого оруденения), а также разработка специфических минералогических методов поисков месторождений полезных ископаемых.

Методические подходы, разрабатываемые современной поисковой минералогией, направлены прежде всего на рост производительности геологоразведочного процесса, на

увеличение объема полезной информации, которая извлекается из горных выработок и скважин, путем более целенаправленного изучения вещественного состава вскрываемых горных пород и руд. При документации керн и горных выработок, в основном, ограничиваются их схематическим описанием и опробованием с последующим определением содержания в них некоторых полезных, иногда также вредных компонентов. Однако определение минерального состава пород и руд с выявлением типоморфных признаков слагающих их минералов может дать дополнительную информацию, которая поспособствовала бы правильному повышению достоверности прогнозных оценок и ведению геологоразведочных работ.

Существуют редкие минералы, устойчивые в узком диапазоне и часто при экстремальных значениях физико-химических условий (РТ-параметров, концентраций и активностей компонентов, кислотности-основности, окислительно-восстановительных свойств минералообразующей среды). При изменении этих условий, эти минералы претерпевают разложение, переход в другие минеральные фазы, при которых образуются пара- и псевдоморфозы. К числу таких минералов относятся индекс-минералы фаций метаморфизма, кор выветривания, импактные минералы и другие, которые возникают в экстремальной геологической и физико-химической обстановке. Появление этих минералов в породах и рудах приобретает важное значение типоморфного признака, однако встречаются они только в одном каком-либо типе месторождений или даже в пределах одной стадии минералообразования. Подобные минералы выступают индикаторами физико-химической обстановки, существующей в момент их образования, а также определенного оруденения и типа месторождения (Типоморфизм...,1989).

Существует большое количество минералов, имеющие широкие поля устойчивости и встречающиеся в нескольких типах месторождений, в каждом из которых они выступают в специфической ассоциации. В данном случае типоморфное значение приобретает нахождение таких минералов совместно с теми или иными сопутствующими минералами.

Как было описано выше, А.Е. Ферсман относит к понятию «типоморфизма» не только специфические минералы, но и «сквозные», сохраняющие стабильность в весьма широком диапазоне физико-химических условий (имеющих большие поля устойчивости на РТХ-диаграммах), а потому появляющихся в самых различных генетических группах и формационных типах месторождений. К таким минералам относятся породообразующие, жильные и рудные минералы. Из жильных наиболее характерны: кварц, флюорит, кальцит, барит. Из рудных минералов можно выделить: шеелит, магнетит, пирит, ильменит, касситерит, пирротин и другие.

В поисковой минералогии ведущую роль играют методы, основанные на визуальных наблюдениях, такие как кристалломорфологические, онтогенические и цветовые характеристики минералов. Для применения в поисково-оценочных работах типоморфных признаков важна их четкость, достаточная контрастность, простота и быстрота определения, а также доступность для использования непосредственно при полевых наблюдениях.

## **2. Геологическая характеристика района исследований**

### **2.1 Геологическая изученность**

Описание геологической изученности дано по отчёту Букурова Г.С., Сабиева С.К., (1994).

Геологические исследования района начаты в 20-е годы и в 1920 г. впервые была выделена Успенская зона смятия.

В 30-е годы были составлены региональные геологические карты по району масштабов 1:20000 и 1:500000, а также выделен Успенский синклиний. В этот же период было выделено (А.К.Каюпов, 1936 г.) первое вольфрамовое месторождение Акмая в Центральном Казахстане.

В 1942 году Е.А.Куликовым отмечено присутствие вольфрама в метасоматитах Катпарского рудного поля, а в 1945г. Б.Д.Лукинским открыто рудопроявление Домеке.

В 1943-44 г.г. Л.А.Таратута и Н.И.Быкова проводили поисковые работы, в результате которых был выявлен ряд вольфрамовых проявлений, в том числе Катпарское.

В 1950 году металлометрической съемкой масштаба 1:50000 (С.Д.Миллер) выявлены геохимические ореолы вольфрама, молибдена, висмута, меди, которыми отметились рудопроявления Домеке, Катпар и месторождение Акмая.

В 1950-52 г.г. И.Н.Субботиним проведена оценка геохимических аномалий рудопроявления Катпар на глубину и дана отрицательная оценка объекту.

В 1952 году Л.А.Мирошниченко проводил ревизию скарновых месторождений Центрального и Южного Казахстана и рекомендовал бурение новых и углубление старых скважин на рудопроявлении Катпар.

В 1954-57 г.г. по району проводились. кондиционные геологические съемки масштаба 1:200000 (Г.И.Бедроз, Т.К. Куликовская, А.П.Канфель).

С 1972 по 1995 год продолжалось планомерное изучение Катпарского рудного поля и месторождения Северный Катпар. В результате этих работ завершена детальная разведка месторождения с подсчетом запасов полезных компонентов по категориям С1 и С2, и открыты перспективные рудопроявления комплексных молибден-вольфрамовых руд Западный Катпар (1976 г.), Северо-Восточный Катпар (1977 г.) и Бибигуль (1987 г.).

### **2.2 Региональная позиция района**

Район исследования располагается во внутриконтинентальном Урало-Монгольском складчатом поясе в Джунгаро-Балхашской складчатой герцинской системе, которая является крупной тектонической структурой на юго-востоке Казахстана.

Джунгаро-Балхашская складчатая система представляет собой ромбовидную структуру размером 600x700 км, которая ограничена с северо-востока Чингиз-Тарбагатайской, а с юго-запада Кокшетау-Северо-Тянь-Шаньской каледонскими складчатыми областями (Рис. 4).

Как самостоятельный региональный структурный элемент система обособилась в раннем девоне.

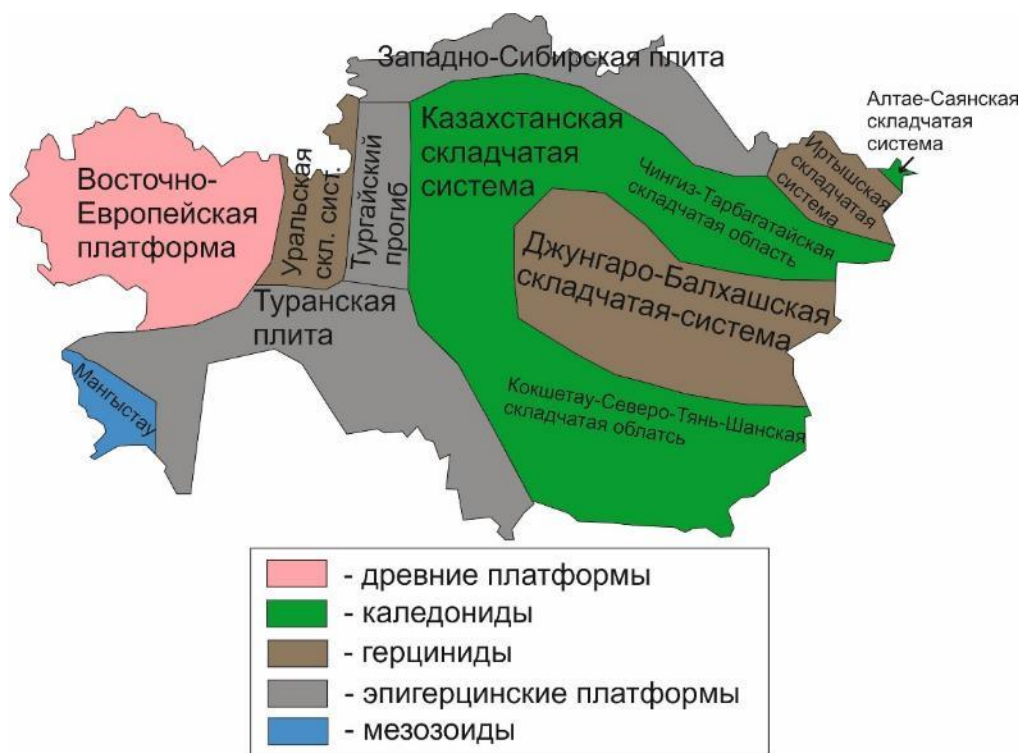


Рис. 4. Геологическая карта Казахстана с условными обозначениями. (По данным из сети Интернет с изменениями автора).

В пределах Джунгаро-Балхашской области выделяется множество зон, различающихся особенностями структуры, возрастом и составом комплексов, участвующих в их строении, а также металлогенической специализацией.

В ее северо-восточной и восточной частях широко распространены ордовикские островодужные вулканические серии; для центральных частей характерно присутствие на больших площадях среднеордовикско-силурийских аккреционных и флишевых комплексов. Островодужные вулканы здесь развиты локально и представлены только верхнеордовикскими известково-щелочными эффузивами (Рис. 5-6) (Дегтярев, 1994; Ляпичев, 1991).

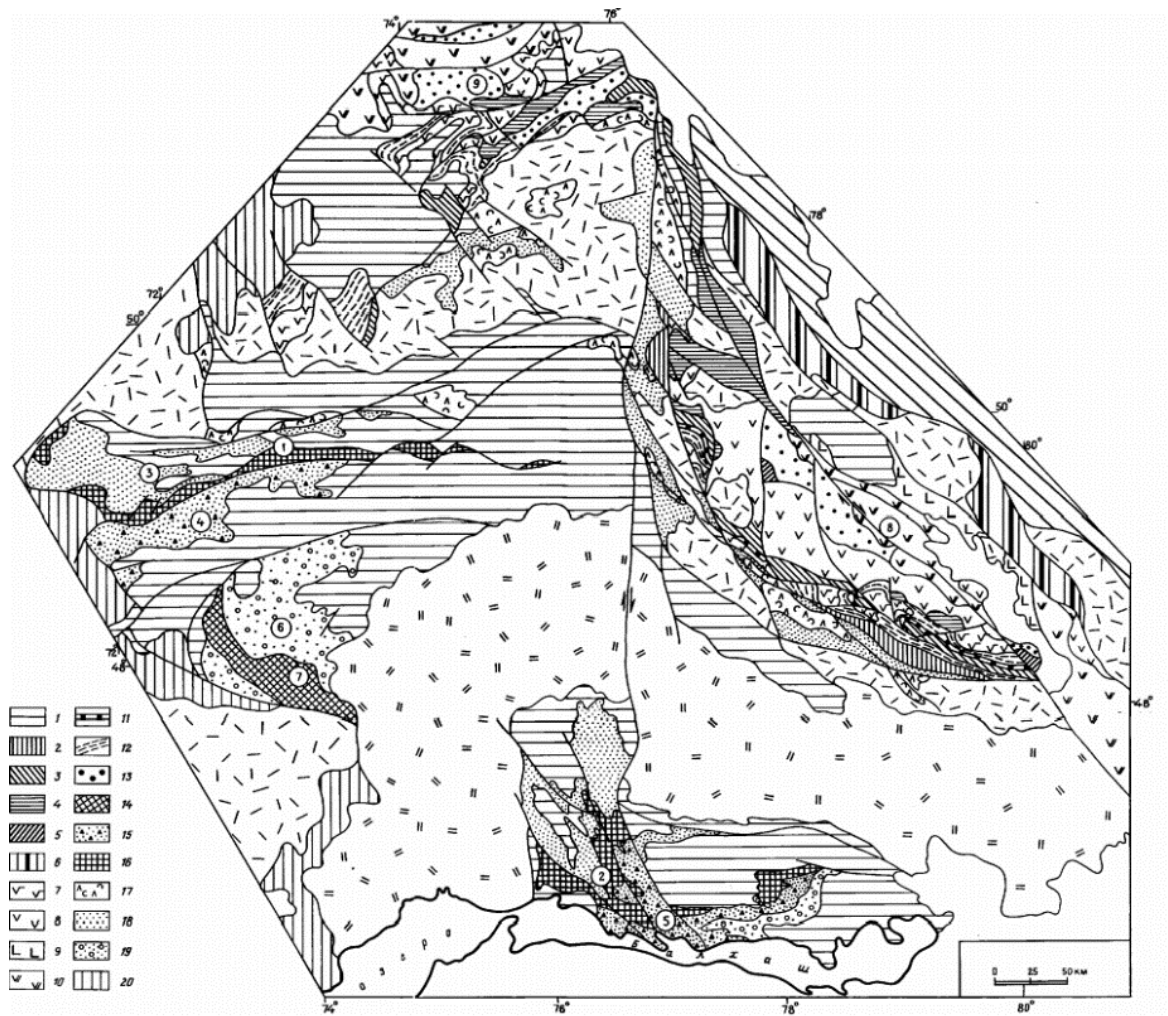


Рис. 5. Схема тектонического районирования нижнепалеозойских и силурийских комплексов восточной части Казахстана (по материалам Дегтярева, 1999): 1 - средне-верхнепалеозойские вулканогенно-осадочные комплексы; 2-13 - Бошекуль-Чингизская область: 2-6 - аккреционные комплексы (2 - нижнепалеозойско-нижнесилурийские, 3 - доверхнеордовикские, 4 - досреднекарадокские, 5 - долландейльские, 6 - нижнепалеозойские нерасчлененные); 7-10 - островодужные вулканические серии (7 - нижнесилурийские, 8 - верхнеордовикские, 9 - среднеордовикские, 10 - кембрийско-нижнеордовикские); 11 - рифовые известняки верхнего ордовика; 12, 13 - флишевые комплексы преддуговых прогибов (12 - верхнеордовикско-нижнесилурийские, 13 - среднеордовикские); 14-19 - Джунгаро-Балхашская область: 14-16 - аккреционные комплексы (14 - ниже-верхнесилурийские, 15 - нижнесилурийские, 16 - среднеордовикско-нижнесилурийские); 17 - ордовикские островодужные вулканиты Северо-Карагандинской и Предчингизской зон; 18, 19 — флишеидные комплексы преддуговых прогибов: (18 — ниже-верхнесилурийские, 19 — верхнесилурийские); 20 — нижнепалеозойские комплексы Западной части Центрального Казахстана. Основные структуры восточной части Центрального Казахстана (цифры в кружках): 1 - Тектурмасская зона, 2 - Балхашская зона, 3 - Нуринский синклиниорий, 4 - Успенская зона, 5 - Ащюзекская зона, 6 - Жаман-Сарысуыйский синклиниорий, 7 - Агадырская зона, 8 - Чингизская палеоостроводужная система, 9 - Бошекульская палеоостроводужная система.

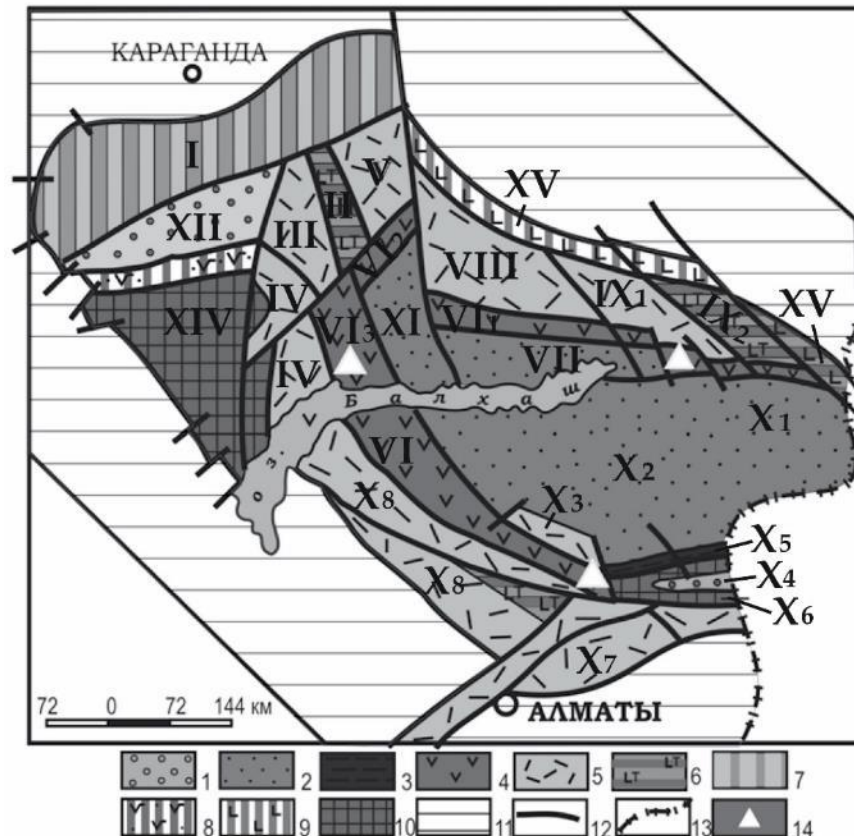
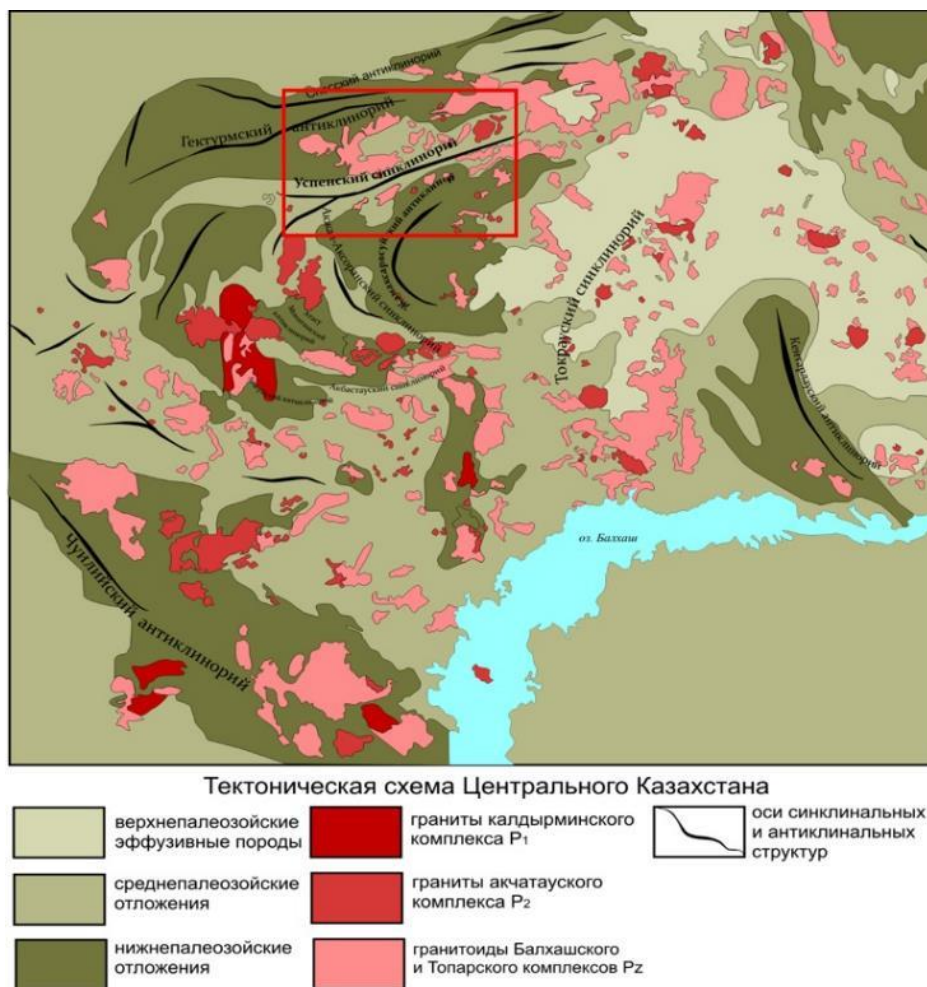


Рис. 6. Схема структурно-формационного районирования Джунгаро-Балхашской складчатой системы (по материалам Ляпичева, 1991): 1-3 - Джунгаро-Балхашский окраинный палеобассейн: 1 - внешний шельф, 2 - внутренний шельф, 3 - глубоководные впадины, 4 - окраинно-континентальный каменноугольный Тасты-Кусак-Котырасан-Алтынэмельский вулcano-плутонический пояс (ВПП), 5 - внутриконтинентальный каменноугольнопермский Балхаш-Илийский ВПП, 6 - структуры типа континентальных рифтов пермского времени с субщелочным магматизмом; 7 - тафrogenная структура типа континентальных рифтов каменноугольного времени; 8-9 - шовные рифтинговые типа структуры со среднеосновным вулканизмом: 8 - девон-каменноугольного и 9 - франского времени; 10 - блоки Актау-Джунгарского микроконтинента; 11 - каледонские структуры обрамления ДБСО; 12 - глубинные разломы и границы СФЗ; 13 - государственная граница; 14 - номера структурно-формационных зон (СФЗ): I - Успенская, II - Жантауская, III - Западно-Токрауская, IV - Южно-Токрауская, V - Восточно-Токрауская, VI - Тасты-Кусак-Котырасан-Алтынэмельская мегазона (VI<sub>1</sub> - Тастыйское звено, VI<sub>2</sub> - Кусакское звено, VI<sub>3</sub> - Котырасанское звено, VI<sub>4</sub> - Алтынэмельское звено), VII - Саякская, VIII - Котанэмель-Калмакэмельская, IX - Баканасская (IX<sub>1</sub> - Западно-Баканасская, IX<sub>2</sub> - Восточно-Баканасская (подзоны), X - Илийская мегазона: X<sub>1</sub> - Северо-Джунгарская (СФЗ), X<sub>2</sub> - Тастау-Саркандская, X<sub>3</sub> - Тастауский приразломный прогиб, X<sub>4</sub> - Центрально-Джунгарская, X<sub>5</sub> - Бороталинская, X<sub>6</sub> - Текелийская, X<sub>7</sub> - Панфиловская, X<sub>8</sub> - Сарыозек-Илийская; XI - Северо-Балхашская, XII - Жаман-Сарысуйская, XIII - Акжал-Аксоранская, XIV - Тасарал-Кызылэспинская, XV - Предчингизская, XVI - Итмурунды-Казык-Тюлькуламская.

### 2.3 Геологическое строение района исследований

Месторождение Северный Катпар размещается в центральной осевой части Успенского синклиория, сложенного позднегерцинскими вулканогенно-осадочными образованиями формации островных дуг и карбонатными отложениями центральных рифтогенных впадин (Рис. 7).





**Рис. 7. Тектоническая схема Центрального Казахстана (по данным Белозерова А.А.).**

Наиболее древними стратифицированными образованиями района являются силурийские флишеидные отложения, фиксирующие на юго-западе краевую часть Жаман-Сарысуйского антиклинория. Живетские терригенные образования и франские лавы и туфы риолитового состава залегают по обрамлению фамен-карбонатовых рифтовых впадин. Мощный Жаксы-Тагалинский франский вулканический пояс, который слагают риолитовые покровы и рвушие субвулканические тела, почти непрерывно прослеживается в пограничной зоне Успенского синклинория и Жаман-Сарысуйского антиклинория. В краевых частях фамен-турнейских впадин спорадически развиты нижнефаменские спилиты, кератофиры с горизонтами кремнистых и известково-кремнистых алевролитов. Выше по разрезу в ядерных частях залегают верхнефаменские углисто-кремнистые и известково-кремнистые песчаники и алевролиты с линзами известняков; непрерывный разрез завершают карбонатные породы ниже-турнейского возраста, слагающие ядерные части узких синклиналичных структур. Все первично-осадочные породы, участвующие в строении разреза фаунистически охарактеризованы.

Приведенные выше геологические особенности строения Успенского синклинория определяют его металлогеническую специализацию и позволяют выделить Успенскую структурно-формационную зону (СФЗ) (Рис. 8).

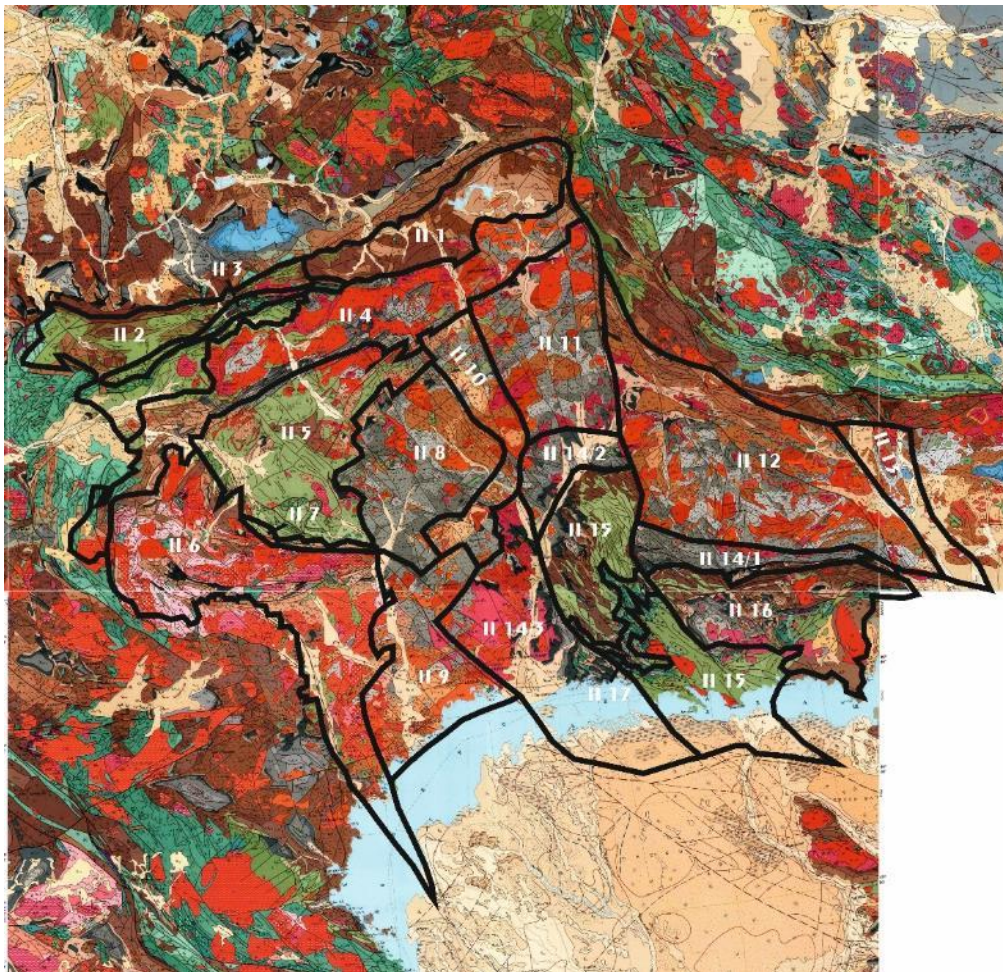


Рис. 8. Схема структурно-формационного районирования Джунгаро-Балхашской складчатой области на базе геологической карты Казахстана масштаба 1: 1000000 (по материалам Даутбекова (2018) с изменениями автора). Номера СФЗ ДБСС: П<sub>1</sub> – Карасор-Нуринская; П<sub>2</sub> – Сарысуйская; П<sub>3</sub> – Тектурмасская; П<sub>4</sub> – Успенская; П<sub>5</sub> – Жаман-Сарысуйская; П<sub>6</sub> – Актау-Тасарал-Кызылэспинская; П<sub>7</sub> – Акжал-Аксоранская; П<sub>8</sub> – Западно-Токрауская; П<sub>9</sub> – Южно-Токрауская; П<sub>10</sub> – Жантауская; П<sub>11</sub> – Восточно-Токрауская; П<sub>12</sub> – Котанэмьель-Калмакемельская; П<sub>13</sub> – Баканасская; П<sub>14</sub> – Тасты-Кусак-Котырасан-Алтынэмьельская; П<sub>14/1</sub> – Тастыйская; П<sub>14/2</sub> – Кусакская; П<sub>14/3</sub> – Котырасанская; П<sub>15</sub> – Северо-Балхашская; П<sub>16</sub> – Саякская; П<sub>17</sub> – Казык-Итмурынды-Тулькуламская.

Металлогеническая специализация Успенской СФЗ – полиметалльная. В зоне выявлено множество объектов различной минерализации (Pb, Zn, Cu, Ni, Mo, Ag, W, Bi, Ba, Mn), однако преобладающей является редкометалльная. В Успенской СФЗ находятся крупнейшие редкометалльные месторождения Центрального Казахстана – Коктенколь, Северный Катпар, Верхнее Кайрақты, Акмая, Нураталды.

Интрузивные образования представлены тремя возрастными комплексами: позднекаменноугольным (дайки диоритовых и долеритовых порфиринов, разнозернистые гранодиориты и граниты трех фаз); раннепермским (мелко- и среднезернистые

лейкократовые биотитовые граниты двух фаз, дайки и трещинные тела гранит-порфиров); позднепермским (лейкократовые средне- и крупнозернистые граниты I фазы и мелкозернистые граниты II фазы акчатауского комплекса, слагающие глубоко эродированный Мурзатайский и "слепой" Акмаинский массивы; с последним генетически связаны все редкометальные проявления Акмая-Катпарской рудной зоны, дайки диоритовых и долеритовых порфиров).

Редкометальное вольфрам-молибденовое оруденение Успенской зоны связано с завершающим позднегерцинским циклом тектоно-магматической активизации: от формирования краевых девонских вулканических поясов (включая спилиты) по обрамлению силурийского флиша, до унаследованного внедрения продуктивных пермских гранитов акчатауского комплекса.

В районе преобладают две основные системы тектонических нарушений:

- 1) Северо-восточные – субширотные (глубинные разломы успенского направления). Наиболее широко развиты – многочисленные взбросы, взбросы-надвиги, сбросы, шарьяжи;
- 2) Северо-западные региональные разломы – крутопадающие сбросы, взбросы и сдвиги.

Остальные нарушения носят второстепенный характер и являются оперяющими производными двух основных систем.

На описываемой территории известны многочисленные рудопроявления и месторождения черных металлов, редкометальных и полиметаллических руд. Основная масса проявлений полезных ископаемых расположена в пределах пяти параллельных структурно-металлогенических зон (с северо-запада на юго-восток): Калдырминской, Домеке-Кушукской, Акмая-Катпарской, Жаксы-Тагадинской и Верхне-Кайрактинской, вписывающихся по площади в контуры огромного гранитного плутона. Указанные металлогенические зоны выделены на структурно-формационной основе.

#### **2.4 Геологическое строение Акмая-Катпарского рудного поля**

Акмая-Катпарская рудная зона совпадает с центральной частью Успенского синклиория и сложена вулканогенно-осадочными и терригенно-карбонатными образованиями фамен-турнейского возраста (успенская свита).

В пределах рудного поля выделяется ряд рудопроявлений (Северо-Восточный Катпар, Западный Катпар, Домеке, Бибигуль и др.) и месторождений (Северный Катпар, Акмая), объединенных общностью происхождения и единством вмещающей их геологической структуры (Рис. 9). Месторождения и рудопроявления Акмая-Катпарского

рудного поля (зоны) относятся к молибден-вольфрамовой рудной формации, пространственно и генетически связаны с апикальными частями, не выходящего на поверхность плутона лейкократовых гранитов акчатауского комплекса.

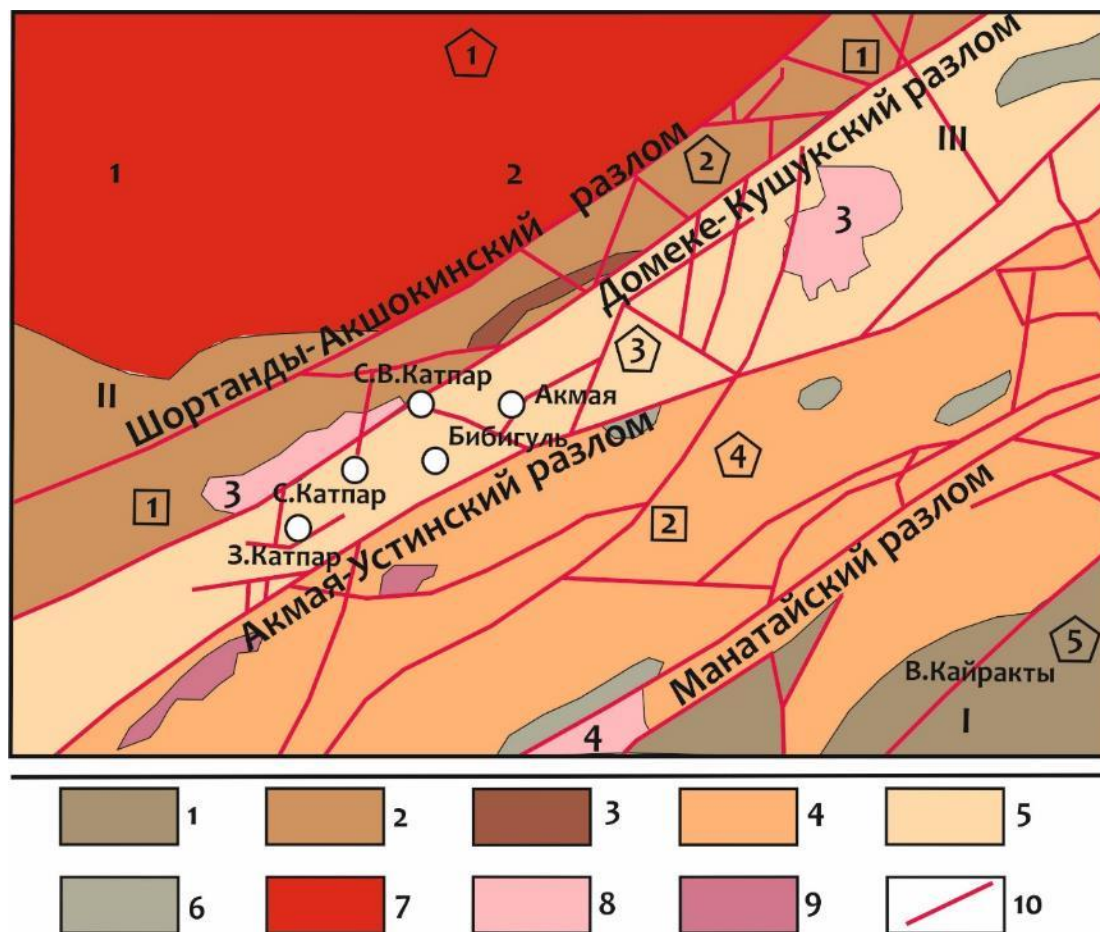


Рис. 9. Схема расположения структур и металлогенических зон района Акмая-Катпарского рудного узла (по материалам Баданиной (1998) с изменениями автора). 1 – флишoidные отложения  $S_2-D_2$ ; 2 – осадочные и вулканогенные отложения  $D_2gv$  и  $D_2gv-D_3fr$ ; 3 – субвулканические образования  $D_3fr$ ; 4 – вулканогенные образования  $D_3fr$ ; 5 – вулканогенные, вулканогенно-осадочные, осадочные образования  $D_3fr-C_{1v2}$ ; 6 – субвулканические образования  $C_{1-2}$ ; 7 – граниты массивов: Сарысуйский (1), Калдырминский (2); 8 – граниты раннепермские: Катпарский (3), Бесыкской (4); 9 – трещинные тела и дайки гранит-порфиров; 10 – разломы. Структуры: I - Жамансарысуйский антиклинорий, II - Сарысуйский антиклинорий, III - Успенский синклинорий: [1] – Акшокинская горст-антиклиналь, [2] – Жаксы-Тагалинский эффузивный пояс. Металлогенические зоны: [1] – Калдырминская, [2] – Domeke-Кушукская, [3] – Акмая-Катпарская, [4] – Жаксы-Тагалинская, [5] – Верхнекайрактинская.

В строении рудного поля принимают участие следующие комплексы пород:

1) Живетские отложения ( $D_2gv$ ), редкие коренные выходы которых наблюдаются в северо-западной части площади (северо-западные отроги г. Domeke и возвышенности севернее месторождения Северный Катпар), представлены темно-серыми до черных мелко- и среднезернистыми полимиктовыми и кварц-полевошпатовыми песчаниками и алевролитами с отдельными горизонтами мелкогалечных конгломератов и лав андезит-базальтового состава;

2) Франский комплекс ( $D_3f_2$ ) вулканогенных и вулканогенно-осадочных пород обособлен в двух тектонических блоках. Первый из них представлен преимущественно

туфами и лавами кислого состава, риолитовыми порфирами с отдельными пачками туфоконгломератов и туфопесчаников (г. Домене и ее отроги, блок пород севернее месторождения Северный Катпар). Второй тектонический блок пород франского возраста расположен на крайнем юго-востоке рудного поля (отроги гор Жаксы-Тагалы) и сложен милонитизированными до милонитов, бластомилонитов и листовых ультрамилонитов туфов и лав риолитов и риолит-дацитовых порфиров;

3) Фаменский комплекс ( $D_3fm_1$  и  $D_3fm_2$ ) осадочных, туфогенно-осадочных и вулканогенных пород обнажен в районе г. Акмая и на небольшой возвышенности в 1,5-2 км к юго-западу от нее.

Нижняя часть разреза ( $D_3fm_1$ ) представлена чередованием спилитов, часто миндалекаменных, с горизонтами и линзами кремнистых алевролитов, и отдельными линзами песчаных и глинистых известняков. Верхняя часть разреза ( $D_3fm_2$ ) представлена пачкой переслаивающихся глинистых, глинисто-кремнистых алевролитов и мелко-среднезернистых песчаников и туфопесчаников с отдельными линзами и горизонтами углисто-глинистых, углисто-кремнистых алевролитов, известняков, известковистых алевролитов и песчаников.

4) Нижнетурнейские отложения ( $C_{1t1}$ ), коренные выходы которых встречаются в юго-восточных отрогах г. Домеке и небольших возвышенностях в районе месторождения, Северный Катпар, представлены серыми, светло-серыми известняками с отдельными редкими горизонтами и линзами алевролитов и полевошпат-кварцевых песчаников. Породы часто мраморизованы, превращены в светлые средне- и крупнозернистые мраморы, местами скарнированы. Известняки, особенно в северо-западной части разреза, участками содержат довольно большое количество углистого материала, вследствие чего имеют четко выраженную полосчатую текстуру. Иногда известняки содержат маломощные (до 1-2 см) мелкие линзочки и желваки кремнистого состава (Букуров, Сабиев, 1994).

Магматические породы Катпарского массива прорывают и интенсивно ороговиковывают сложно построенную толщу пород, представленную преимущественно вулканитами кислого состава франского возраста, среди которых наблюдаются отдельные блоки песчаников и туфопесчаников, реже туфов смешанного состава предположительно живетского возраста и единичные мелкие блоки известняков, превращенных в скаполит-воластонит-пироксеновые скарны. Интенсивно ороговикованные породы насыщены многочисленными мелкими телами гранитоидов, разнообразных по составу (от гранодиоритов до лейкократовых гранитов) и структурно-текстурным признакам (массивные, гнейсовидные, неравнозернистые, порфировидные).

Лейкократовые граниты прорывают, мраморизируют и скарнируют известняки нижнего турне (C<sub>1t1</sub>), характеризуются отчетливо проявленной редкометальной геохимической специализацией и относятся к рудоносному акчатаускому комплексу. По данным интерпретации геофизических полей, вскрытые скважинами лейкократовые граниты являются частью не выходящего на поверхность крупного, вытянутого в северо-восточном направлении Акмаинского гранитного массива. По аналогии с другими проявлениями Акчатауского гранитного комплекса, возраст гранитов определяется как позднепермский. В пределах месторождения Северный Катпар в толще мраморизованных и скарнированных известняков над Акмаинским гранитным массивом наблюдаются единичные дайки диоритовых и долеритовых порфиритов, по-видимому, также относящиеся к этому интрузивному комплексу.

Разномасштабные и разноориентированные разрывные нарушения широко проявлены в пределах Акмая-Катпарского рудного поля. Наиболее крупными из них являются швы Успенской зоны разломов северо-восточного простирания; Домеке-Кушукский и Акмая-Устинский. Большинство разрывных нарушений перекрыты рыхлыми отложениями, сопровождаются мощными, проникающими до глубины 100-150 м, линейными корами выветривания пород и хорошо дешифрируются на аэрофотоснимках различного масштаба. В отдельных случаях разломы вскрываются глубокими поисковыми скважинами или обнажаются на поверхности.

Крупные разрывные нарушения северо-западной ориентировки в пределах Акмая-Катпарского рудного поля представлены серией преимущественно одношовных разрывов, усложняющих тектоническое строение площади и влияющих на ориентировку отдельных отрезков глубинных контактов гранитоидов, зон измененных пород, кварцевых жил. Прожилки рудоносных скарнов в пределах месторождения Северный Катпар и рудные кварц-вольфрамитовые жилы и прожилки на месторождении Акмая ориентированы параллельно этим структурам в северо-западном направлении.

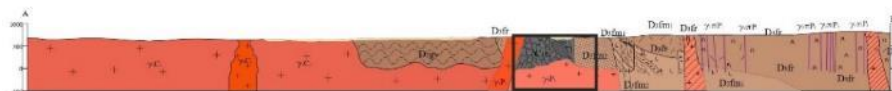
## **2.5 Геологическое строение месторождения Северный Катпар**

Месторождение находится в опущенном блоке, сложенном нижнетурнейскими известняками и прорывающими их пермскими гранитами, который зажат между девонскими породами (Рис. 10).

Масштаб 1:50000



РАЗРЕЗ ПО ЛИНИИ А-Б



Условные обозначения

- |                                       |  |  |
|---------------------------------------|--|--|
| Q <sup>н</sup>                        | Современное звено  | 1 - аллювиальные пески, гравий, галечники, супеси;<br>2 - продольные супеси, суглинки, щебень. |
| Q <sup>пн</sup>                       | Верхнее и современное звено. Дельтавно-продольные суглинки, супеси, пески, дресва, щебень  |  |
| Q <sup>ш</sup>                        | Среднее и верхнее звено. Дельтавно-продольные суглинки, дресва, щебень   |  |
| Q <sup>с</sup>                        | Среднее звено. Аллювиальные пески, гравий, галечники, щебень   |  |
| Q <sup>д</sup>                        | Нижнее звено. Дельтавно-продольные суглинки, глина, щебень   |  |
| N <sup>к</sup>                        | Верхнее звено. Красноцветные и пестроцветные глины с линзами песков  |  |
| N <sup>ж</sup>                        | Нижнее звено. Зеленоцветные глины с железисто-марганцевыми конкрециями   |  |
| P                                     | Пески, гравий  |  |
| подземные интрузивные образования     | δπP2   | Дайки апоритовых и диабазовых порфиров   |
|                                       | γP   | Мелкозернистые биотитовые граниты  |
|                                       | γP   | Лейкокротовые средне- и крупнозернистые граниты  |
| разуперенные интрузивные образования  | γнP  | Дайки и трещинные интрузии гранит-порфиров и гранодиоритовых порфиров                          |
|                                       | γP   | Мелкозернистые биотитовые граниты  |
|                                       | γP   | Средне- и крупнозернистые лейкокротовые биотитовые граниты                                     |
|                                       | δμC  | Дайки апоритовых и диабазовых порфиров   |
|                                       | γC   | Дайки мелкозернистых гранитов, граносенитов  |
| возлекартевые интрузии                | γC   | Мелкозернистые и мелко-среднезернистые порфиритовые граниты                                    |
|                                       | γC   | Средне-крупнозернистые лейкокротовые биотитовые граниты  |
|                                       | γC   | Порфиритовые биотитовые, биотит-амфиболовые мелкозернистые граниты и гранодиориты              |
| Cпн                                   | Нижне-туркестанский подъярус. Мраморовые известняки, единичные прослои песчаников  |  |
| Dпн                                   | Верхнефамский подъярус. Угисто-глинистые алевролиты, песчаники, кремнистые известняки, известково-кремнистые породы, глины известняков |  |
| Dпн                                   | Нижнефамский подъярус. Спелиты, кератофиры, кремнистые и известково-кремнистые алевролиты  |  |
| Франские субвулканические образования | кАДф   | Франские субвулканические липаритовые порфиры  |
| Dлр                                   | Липаритовые, липарит-дацитовые порфиры и их туфы   |  |
| Dзв                                   | Средний отдел жинетский ярус. Песчаники, алевролиты, глины конгломератов   |  |
| S                                     | Ритмично переслаивание песчаников и алевролитов, единичные линзы трахитов и конгломератов  |  |

- |  |  |
|--|--|
|  | 1. Конгломераты 2. Песчаники   |
|  | 1. Алевролитовые 2. Кремнистые алевролиты  |
|  | Ритмическое переслаивание песчаников и алевролитов                                       |
|  | 1. Известняки 2. Мраморовые известняки, мраморы  |
|  | Известково-кремнистые породы   |
|  | Туфопесчаники, туфоалевролиты  |
|  | 1. Липариты 2. Липарито-дациты   |
|  | 1. Андезиты 2. Андезито-дациты   |
|  | 1. Базальты 2. Спелиты   |
|  | Кератофиры   |
|  | 1. Витрокластические туфы<br>2. Кристаллокластические туфы                               |
|  | 1. Литокластические туфы<br>2. Туфокоагуляты, агломератные туфы                          |
|  | 1. Мелкозернистые граниты, гранит-порфиры<br>2. Средне-крупнозернистые граниты           |
|  | Порфиритовые граниты   |
|  | Порфиритовые: гранодиориты, меланокротовые граниты                                       |
|  | Пролонженные горизонты песчаников и алевролитов  |
|  | Роговики и ортокварцитовые породы  |
|  | Скары и скарпированные породы  |
|  | Кварцевые жилы   |
|  | 1. Окварцевание 2. Серпентинизация   |
|  | Кора выветривания  |
|  | Линия тектонического контакта: 1-бросы, 2-надвиги  |
|  | Зоны мylonитизации и интенсивного расщепления  |
|  | Линия нормально стратиграфического и интрузивного контакта: 1-дистория, 2-предполагаемая |
|  | Линия несогласия контакта  |
|  | 1. Фациальность 2. Сдвиг 3. Поворот  |
|  | 1-азимут, 2-вертикаль, 3-поворот   |
|  | Месторождение полезных ископаемых w-основой (Mo, B) - неиспользуемые компоненты          |
|  | Радиоразложение  |
|  | Контур геологической карты Акмяя - Катпарской зоны масштаба 1:10000                      |

Рис. 10. Геологическая карта района Акмяя-Катпарской рудной зоны с обозначением месторождения Северный Катпар. Черными прямоугольниками отмечена исследуемая площадь.

Северное крыло известняков срезано Домеке-Кушукским взбросо-сдвигом северо-восточного простирания, за которым обнажаются раннепермские средне-мелкозернистые граниты Катпарского массива (Рис. 11) (Баданина, 1998).

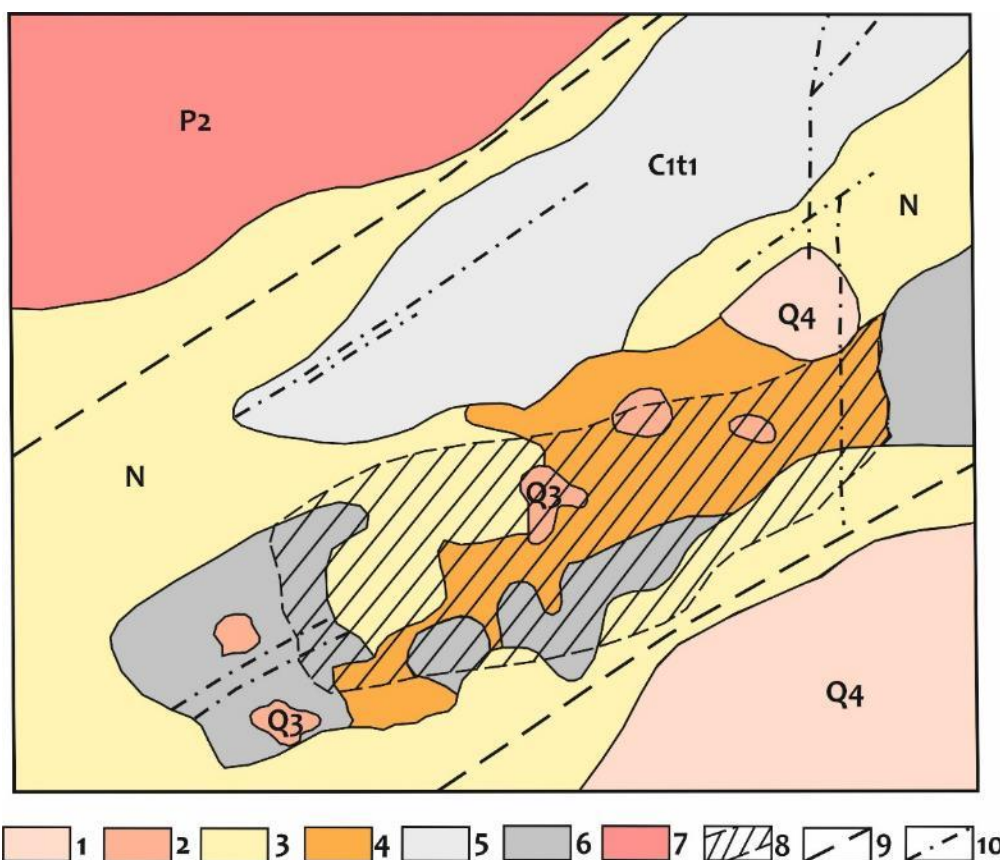


Рис. 11. Схема геологического строения месторождения Северный Катпар (по материалам Баданиной (1998) с изменениями автора). 1 - современные отложения; 2 - аллювий; 3 - глины; 4 - кора выветривания; 5 - темно-серые известняки; 6 - белые мраморизованные известняки; 7 - граниты; 8 - проекция на дневную поверхность рудоносного штокверка; 9 - региональные тектонические нарушения; 10 - второстепенные тектонические нарушения. Здесь и на рис. 2, 3 - масштаб 1:50000.

Большая часть месторождения представлена известняками, образующими крупную опрокинутую на север синклиналию складку, ядро которой сложено углисто-глинистыми разновидностями. Известняки имеют массивную и тонкослоистую текстуру и относятся к чистым кальцитовым разновидностям с тонкими темными прослоями, обогащенными углистым материалом.

Интрузивные породы месторождения представлены раннепермскими лейкократовыми гранитами массива Катпар, обнажающимися на севере, аляскистыми гранитами Акмаинского массива и дайковыми образованиями кислого, среднего и основного составов.

Оруденение генетически связано с аляскистыми гранитами массива Акмая, залегающими под известняками на глубине 400-600 м. Граниты слагают куполовидную апикальную часть интрузивного массива, осложненную мелкими апофизами. Крутизна



склонов гранитного купола в верхней части достигает 45°. Купол почти симметричен с более пологой верхней северо-западной частью (Рис. 12).

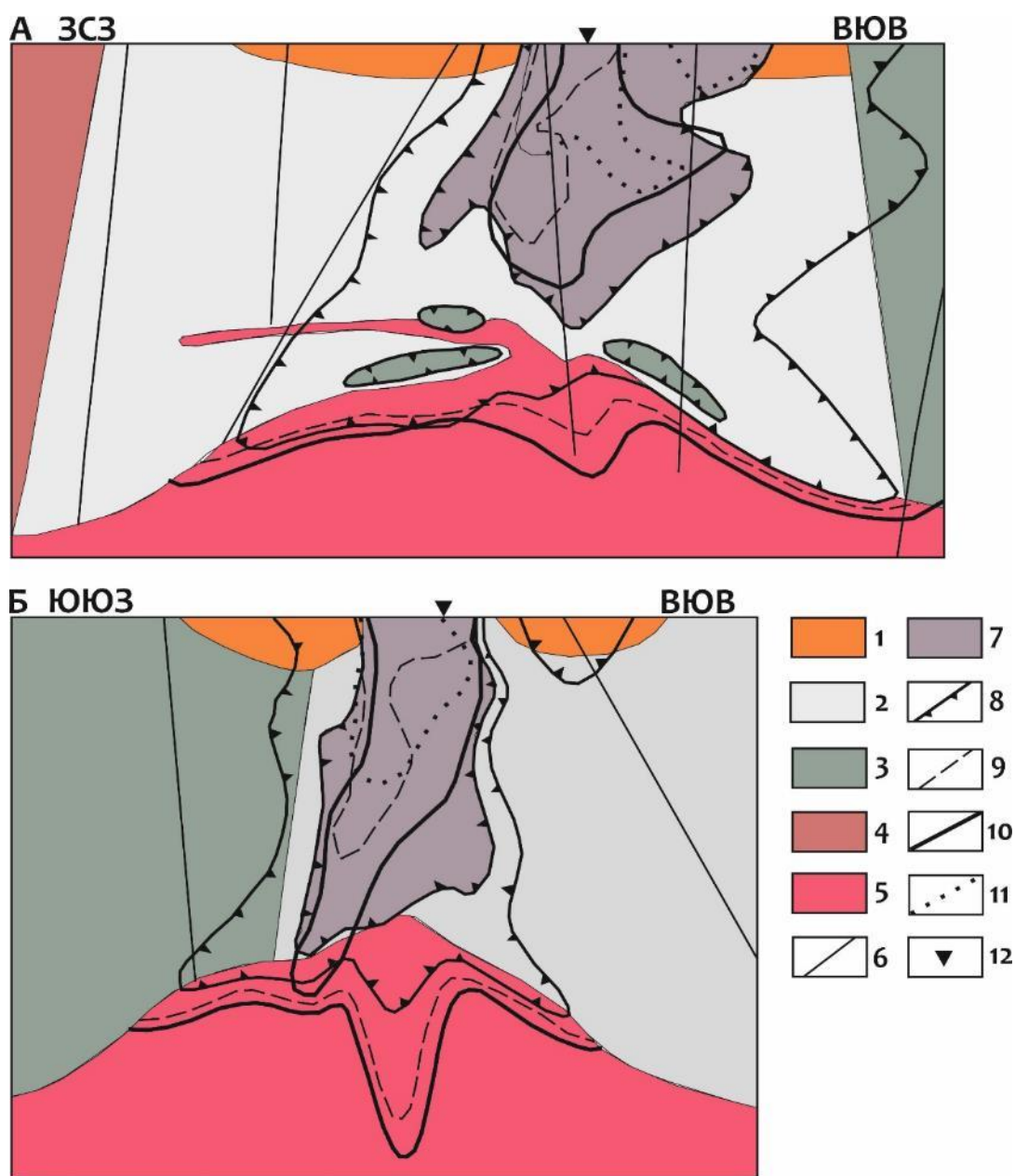


Рис. 12. Разрезы месторождения Северный Катпар (по материалам Баданиной (1998) с изменениями автора): а - продольный, б - поперечный. Условные обозначения: 1 - кора выветривания; 2 - мраморизованные известняки и мраморы; 3 - углистые алевролиты; граниты: 4 - Катпарского массива; 5 - Акмаинского; 6 - разрывные нарушения; 7 - рудное тело; первичные ореолы: 8 –  $WO_3$ , 9 - Si, 10 - Mo, 11 – Bi; 12 - пересечение разрезов.

Породы месторождения сильно трещиноваты. В пределах Акмая-Катпарского рудного узла развиты три группы трещин: 1) складчатые и согласные с региональной зоной разломов; 2) север-северо-восточного направления 20°; 3) северо-западного направления 320°. Сочетание этих групп создает трещинную решетку сложной морфологии, обусловившую штокверковый структурно-морфологический тип оруденения.

Процессы метаморфизма и метасоматоза захватили значительные объемы горных пород, которые сильно изменены и разнообразны по составу: граниты скарнированы, калипшатизированы и альбитизированы; известняки преобразованы в мраморы, гранатовые и волластонитовые скарны. На граниты и скарны наложена грейзенизация. Постмагматическое минералообразование в известняках соответствует последовательности формирования скарново-грейзеновых месторождений и подробно описано многими исследователями (Денисенко, 1970; Генетические модели..., том 1, 1983; Генетические модели..., том 2, 1983). Карбонатные породы вначале подвергаются скарнированию, мраморизации, а затем грейзенизации.

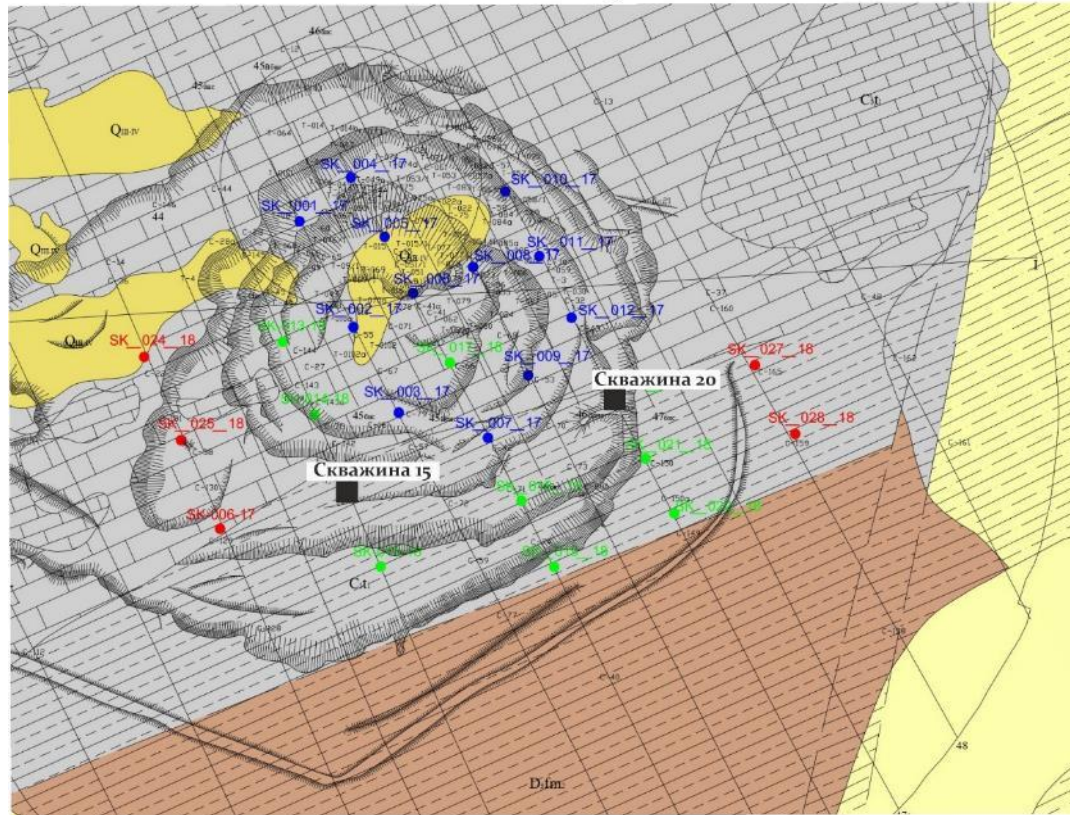
Оруденение и метасоматоз накладывается на скарны и более удаленные мраморизованные известняки. Поскольку грейзенизация протекает не в алюмосиликатных, а карбонатных породах с интенсивным привнесением кремнезема, фтора и незначительным количеством алюминия, вместо типичных турмалин-флюоритовых и топаз-флюоритовых грейзенов образуются флюоритовые. В заключительную гидротермальную стадию, как правило, образуются кварцевые карбонатные, апофиллитовые и пренит-цеолитовые жилы.

На месторождении отчетливо проявлена вертикальная зональность. Она связана с различным составом вмещающих пород. В основании рудоносного штокверка (в гранитах) распространено медно-молибденовое оруденение с висмутом, которое сменяется при выходе штокверка в известняки комплексным висмут-медно-молибден-вольфрамовым (Баданина, 1998).

Характеристика пород месторождения Северный Катпар строится на изучении и описании геологоразведочных скважин №15 и №20 (Рис. 13).

Масштаб 1:5000

## Условные обозначения



- Q<sup>III-IV</sup> Верхний и современные отделы. Четвертичные аллювиально-пролювиальные песчано-глинистые отложения с полуокатанными гальками кислых эффузивов.
- N<sub>2</sub> Зеленовато-серые вязкие глины.
- C<sub>1</sub>t<sub>1</sub> Серые известняки с кремнистыми желваками (коренные выходы).
- C<sub>1</sub>t<sub>1</sub> Темно-серые, серые углистые известняки в коренном залегании (слева) и под рыхлыми образованиями (справа).
- C<sub>1</sub>t<sub>1</sub> Светло-серые мраморы и мраморизованные известняки в обнажениях (слева) и под рыхлыми образованиями (справа).
- D<sub>3</sub>fm<sub>2</sub> Тонкоплитчатые серые кремнистые алевролиты в коренном залегании (слева) и под рыхлыми образованиями (справа).
- D<sub>3</sub>fm<sub>2</sub> Тонкоплитчатые темносерые углисто-кремнистые алевролиты с прослоями и линзами полимиктовых песчаников под рыхлыми образованиями.
- +γ<sub>4</sub>P<sup>+</sup> Мелко и среднезернистые граниты Катпарского массива.
- Разрывные нарушения, отдешифрированные по контактному отпечаткам: 1-по коренным выходам пород, 2-по рыхлым образованиям.
- Разрывные нарушения, установленные по геологическим данным: взбросы (разломы субширотного простирания) и сбросы (разломы субмеридиального простирания).
- Зона разлома, сопровождаемые параллельными трещинами и милонитизацией пород.
- Геологические границы достоверные (1) и предполагаемые (2).
- Расположение исследуемых скважин

Рис. 13. Схематическая карта месторождения Северный Катпар и расположение исследуемых скважин.

### 3. Минералого-петрографическая характеристика пород и руд месторождения

#### 3.1 Геологическая характеристика рудовмещающих толщ

Разрезы скважин начинается с довольно мощной глинистой коры выветривания (15 скважина – 90 метров, 20 скважина – 30 метров), которая представлена супесью, суглинками и темно-серыми алевролитами с сильной лимонитизацией, увеличивающейся от верхних горизонтов к нижним.

Далее, вниз по разрезу, характерно чередование серых углеродистых и белых мраморов, которые имеют средне-крупнозернистую структуру и массивную, неяснополосчатую текстуру. По мраморам развивается скарнирование, при котором образуются многочисленные разнонаправленные жилы и прожилки с волластонитом и гранатом. Прожилки располагаются под разными углами относительно оси керна, в основном под углом 35-50°. Присутствуют как единичные прожилки шириной от 3 мм до 8 см, так и зоны прожилкования, которые составляют разноориентированный ореол вокруг мощных скарновых тел, что позволяет объединить их в крупные рудно-метасоматические зоны, залегающие в целом согласно с вмещающими известняками (Баданина, 1998). Наибольшее распространение получили гранат-волластонитовые прожилки, где в центре присутствует гранат, а в периферии – волластонит. Также распространены гранат-волластонит-бустамитовые и гранатовые жилы, и прожилки в мраморах, обогащенных графитовым веществом (Рис.14).

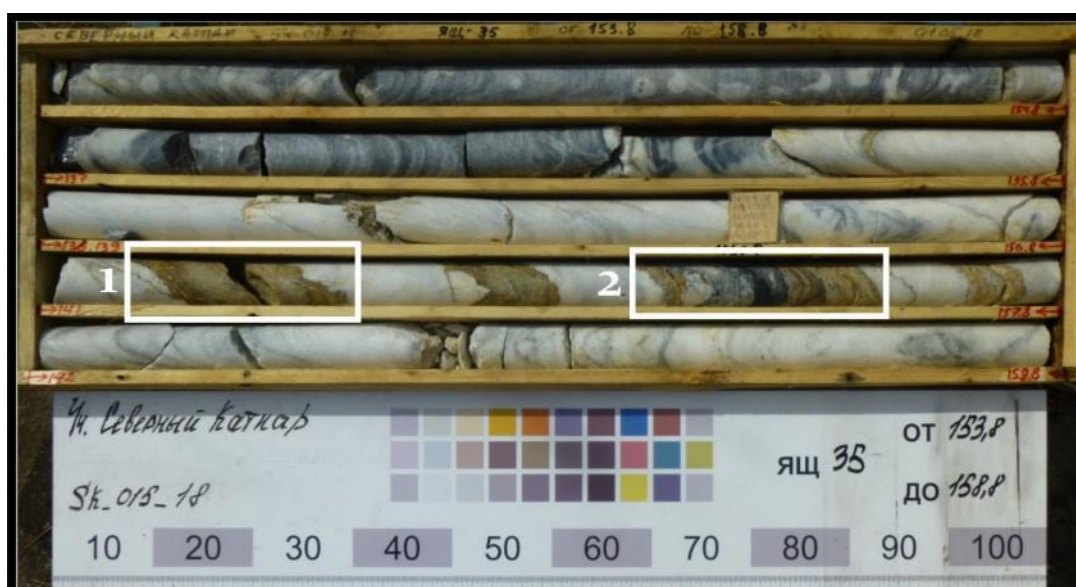


Рис. 14. Расположение прожилков и жил в керне скважины №15: 1 – гранатовая жила; 2 – мрамор, обогащенный графитовым веществом с гранатовым прожилком;

Для пород месторождения характерно чередование мраморов со скарнами, причем с глубиной зоны скарнирования увеличиваются, доходя до нескольких метров (1-4 м) (Рис. 15).



Рис. 15. Зоны скарнирования, чередующиеся с мраморами.

Примечательно, что чередование скарнов и мраморов в скважине №15 продолжается вплоть до резкого контакта мраморов с гранитами на глубине 475,5 метров. По-другому выглядит ситуация с 20 скважиной: чередование мраморов со скарнами продолжается до глубины 471,6 метров, где далее следует сплошная зона экзо- и эндоскарнов мощностью 30 метров, имеющих плавный контакт с гранитами на глубине 501,8 метров.

Лейкократовые граниты слабо скарнированы и интенсивно окварцованы, наблюдаются многочисленные кварцевые и кварц-полевошпатовые прожилки. (Рис. 16).

Как было описано выше, процессы метаморфизма и метасоматоза на месторождении захватили значительные объемы горных пород, которые претерпели изменения, за счет чего получили разнообразный состав. На скарны и граниты наложена грейзенизация, которая привела к образованию флюоритовых прожилков с разнообразными сульфидами. Последующие гидротермальные изменения также затронули большую часть пород месторождения.



Рис. 16. Лейкократовые граниты с серией кварцевых и кварц-полевошпатовых прожилков: А – 15 скважина, Б – 20 скважина.

Детальное изучение пород месторождения проводилось по образцам, отобранным по скважинам №15 и №20 (Рис.17). В рамках данной работы наибольший интерес представляют скарновые гранатовые и гранат-волластонитовые прожилки в мраморах, а также непосредственно зоны экзо- и эндоскарнов, с которыми связано образование гранатов.

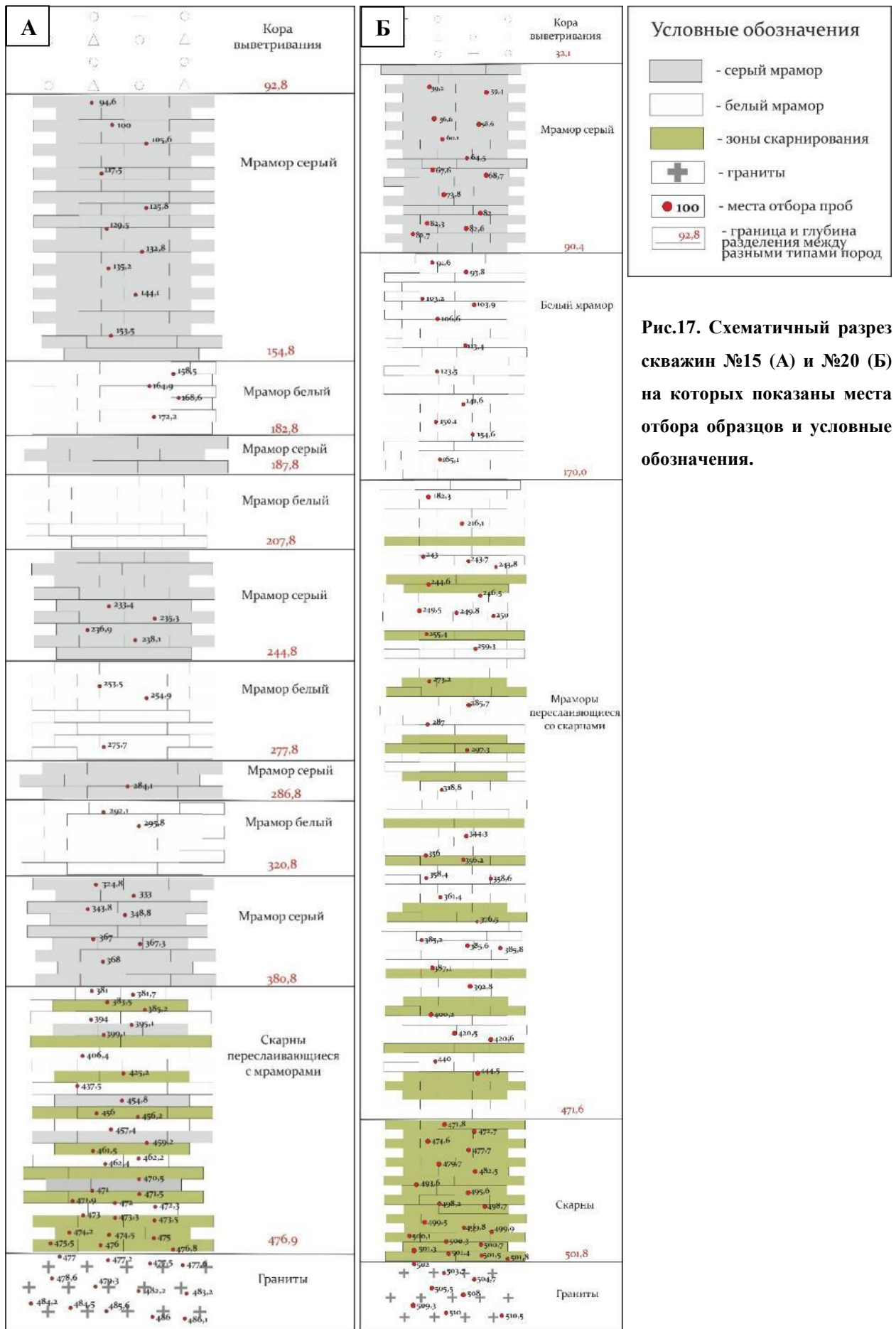


Рис.17. Схематичный разрез скважин №15 (А) и №20 (Б) на которых показаны места отбора образцов и условные обозначения.

### 3.2 Петрографические особенности пород

Вмещающие породы – мраморы от белого до темно-серого цвета, в которых широкое распространение имеет кальцит. По форме выделений и взаимодействию с другими минералами выделяется 3 его генерации:

1. Крупнокристаллический белый кальцит. В основном он слагает мрамора и является довольно чистым по составу, лишь изредка присутствуют незначительные примеси и в отдельных случаях он обогащен углисто-глинистым алюмосиликатным материалом, за счет чего приобретает серый цвет. Кристаллы кальцита крупные (1-3 мм), структура мозаичная (Рис. 17 а-б, в-г).

2. Бурый кальцит. Является одним из основных минералов скарнов. Он образует ветвистые и хаотично расположенные массы мелкокристаллического кальцита бурого цвета, затронутые процессами перекристаллизации. Структура близка к гломеробластовой (Рис. 17 в-г, д-е).

3. Белый гидротермальный кальцит. Этот кальцит заполняет пустоты между зернами и кристаллами других минералов, рассекает их прожилками. Также характерно заполнение им пространства между секторами в гранате (Рис. 17 д-е).

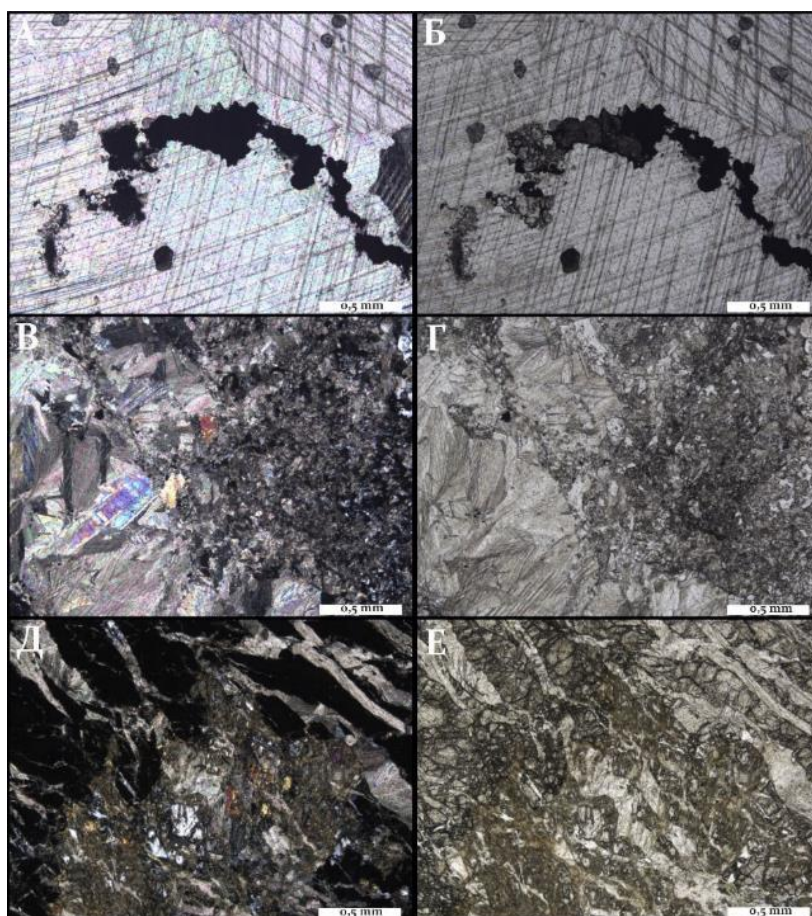


Рис. 17. А-Б – белый кальцит мраморов с зернами граната и сульфидами (изотропные); В-Г – мелкокристаллический бурый кальцит скарнов с кальцитом мраморов; Д-Е – гидротермальный



кальцит в прожилках с бурым мелкокристаллическим кальцитом скарнов; (а, в, д – с анализатором, б, г, е – без анализатора);

Не менее распространен в породах месторождения волластонит. Он располагается в оторочках скарновых прожилков совместно с гранатом. В шлифах волластонит бесцветен, имеет пластинчатые кристаллы и лучевидные агрегаты (Рис. 18). Наибольшего распространения волластонит достигает в интервале глубин от 160 до 300 метров.

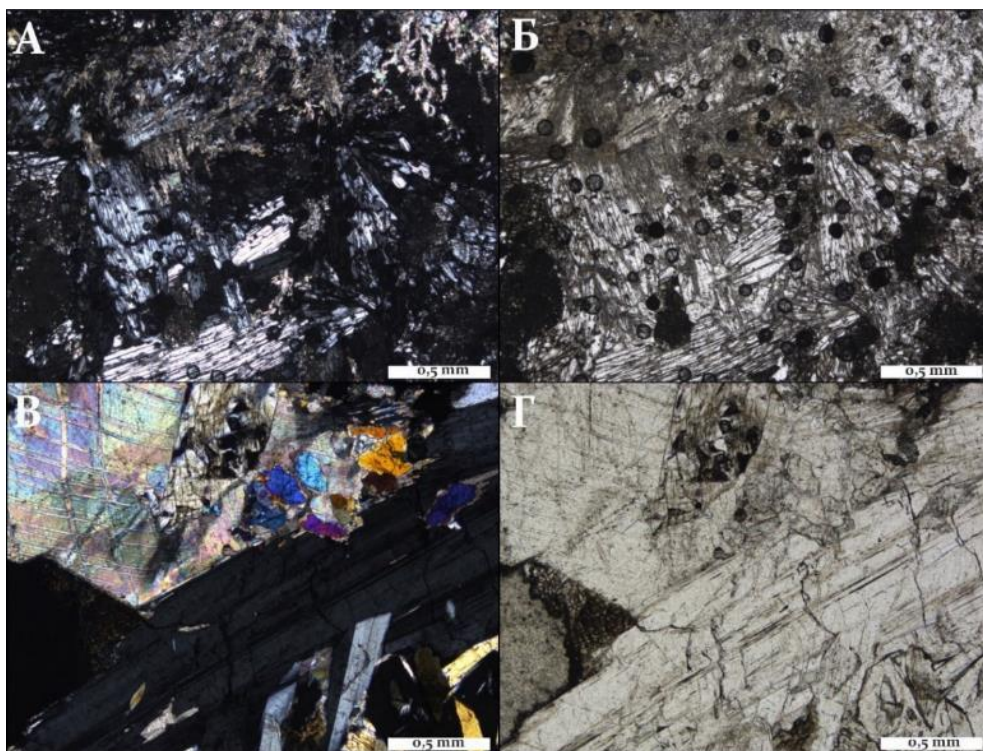


Рис. 18. А-Б – вытянутые лучевидные агрегаты волластонита с бурым кальцитом; В-Г – пластинчатые кристаллы волластонита с кальцитом мраморов и эпидотом; (а, в – с анализатором, б, г – без анализатора);

Основным минералом скарнов является гранат, который представлен двумя генерациями:

1. Скарновый. Имеет крупные зерна с ясно проявленной зональностью. Гранат изотропный, однако благодаря секториальному строению, можно наблюдать его погасание. Этот гранат пересекает множество кальцитовых и кварцевых прожилков, которые также заполняют пространства между зернами (Рис. 19). Для граната характерны включения шеелита и заполнение между зернами рудных минералов.
2. Гидротермальный переотложенный гранат располагается в жилках с кварцем и кальцитом или как самостоятельный элемент (Рис. 20). Для него характерны мелкие зерна, не наблюдается зональное строение. Также он не содержит включений шеелита. Наибольшее распространение отмечено в нижних горизонтах, где начинаются широкие зоны скарнирования.

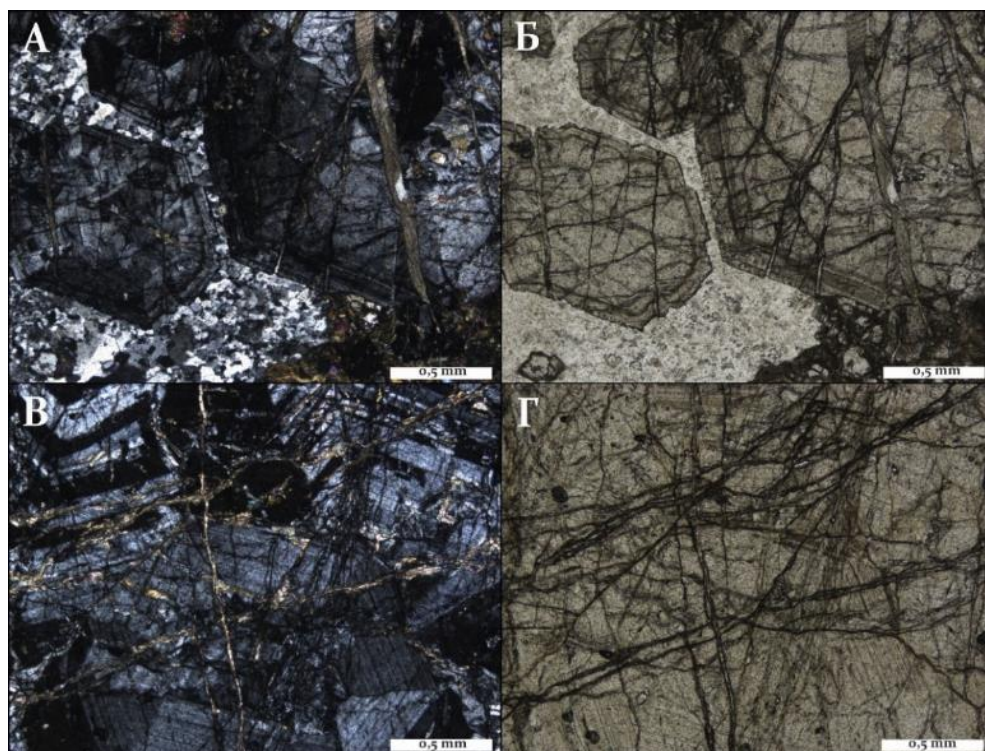


Рис. 19. А-Б – крупные зерна граната, которые пересекаются кальцитовыми прожилками и у которых межзерновое пространство заполнено кварцем; В-Г – крупные зерна граната, пересеченные кальцитовыми прожилками; (а, в – с анализатором, б, г – без анализатора);

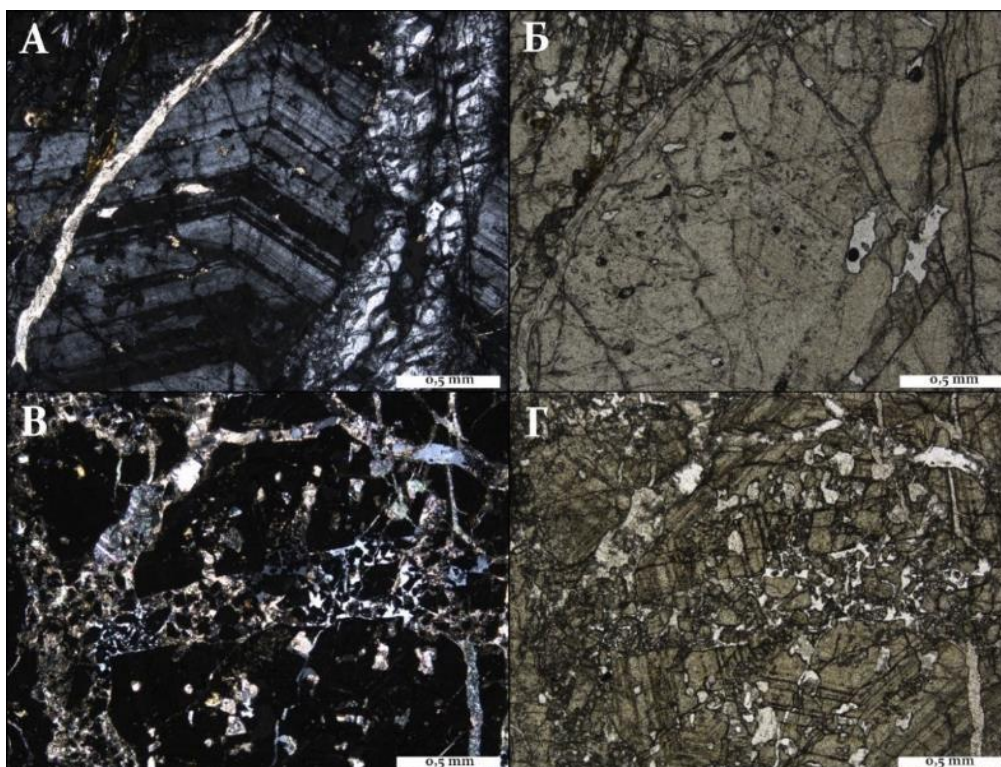


Рис. 20. А-Б – крупное зерно граната, которые пересекают кальцитовые прожилки и гидротермальный переотложенный гранат; В-Г – крупное зерно граната, пересеченное множеством прожилков с кальцитом, кварцем и переотложенным гранатом; (а, в – с анализатором, б, г – без анализатора);

Кварц развивается по скарнам и заполняет пустоты и трещинки в других минералах, а также образует жилки шириной до 2 мм совместно с белым гидротермальным кальцитом (Рис. 21). Так же, как и гидротермальный гранат характерен для нижних горизонтов.

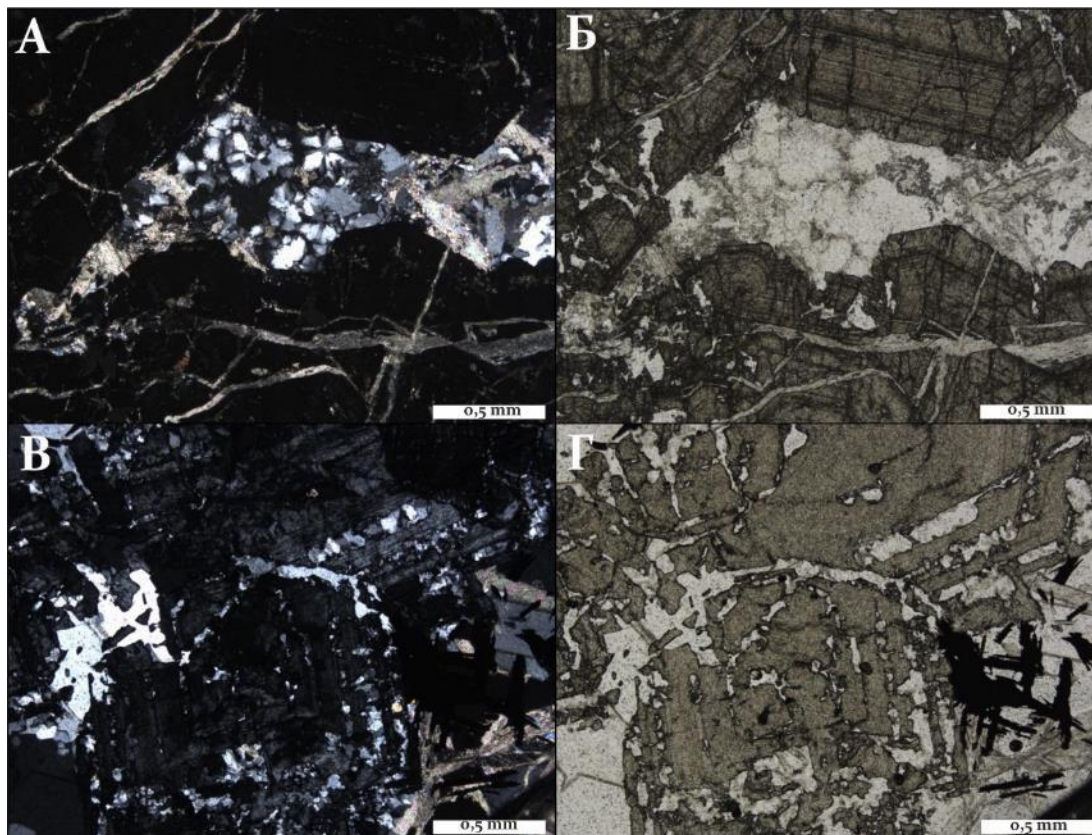


Рис. 21. А-Б – кварц в виде сферолитов, заполняющий пространства между зернами граната, совместно с кальцитом; В-Г – кварц, заполняющий пространство между секторами граната; (а, в – с анализатором, б, г – без анализатора);

Хлорит представлен двумя разновидностями:

1. Мелкие агрегаты чернильно-синего цвета, которые располагаются хаотично и в основном совместно с мелкокристаллическим бурыми кальцитом, флюоритом и гранатом (Рис. 22).

2. Крупные агрегаты бутыльно-зеленого цвета. Располагается на границе зерен крупного граната совместно с гидротермальным кальцитом. Присутствуют также мелкие выделения в межзерновом пространстве (Рис. 23).

Хлорит, так же, как и кварц с гидротермальным гранатом приурочены к нижним горизонтам разреза.

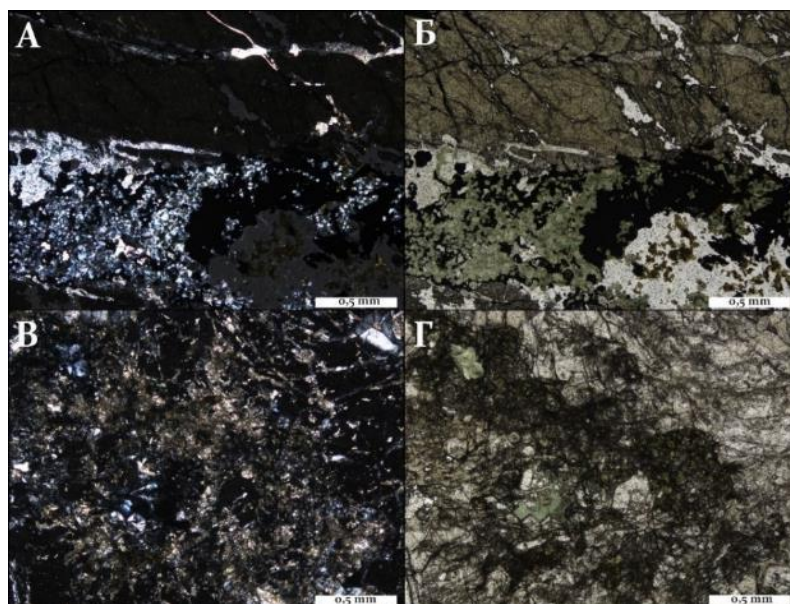


Рис. 22. А-Б – мелкие агрегаты хлорита чернильно-синего цвета, заполняющие пустоты между зерен граната совместно с флюоритом; В-Г – мелкие агрегаты хлорита чернильно-синего цвета, располагающиеся в мелкокристаллическом буром кальците; (а, в – с анализатором, б, г – без анализатора);

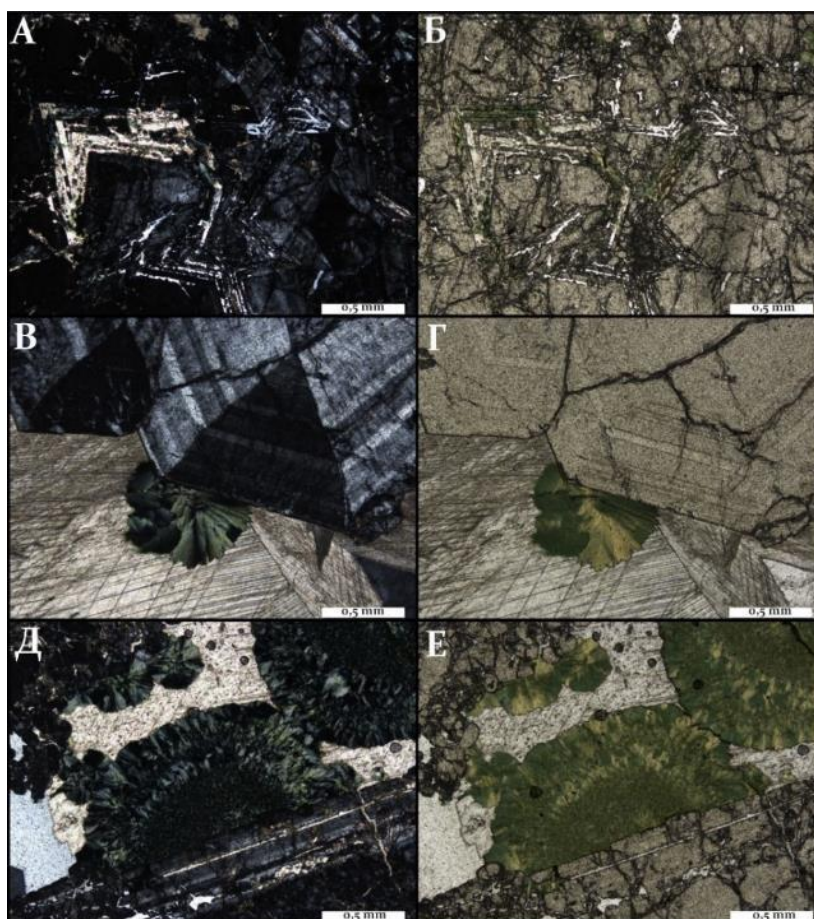


Рис. 23. А-Б – мелкие выделения хлорита бутылочно-зеленого хлорита, заполняющие межзерновое пространство; В-Г и Д-Е – крупные агрегаты хлорита бутылочно-зеленого цвета, заполняющие пустоты совместно с гидротермальным кальцитом; (а, в, д – с анализатором, б, г, е – без анализатора);

Эпидот образует зерна размером до 0,4 мм, имеет яркие цвета интерференции, высокий рельеф, короткопризматические и неправильные зерна (Рис. 24). В основном находится совместно с гранатом, бурым кальцитом. Множество мелких зерен в большинстве случаев имеют хаотичное расположение в мелкокристаллической массе бурого кальцита. Крупные зерна больше приурочены к гранату.

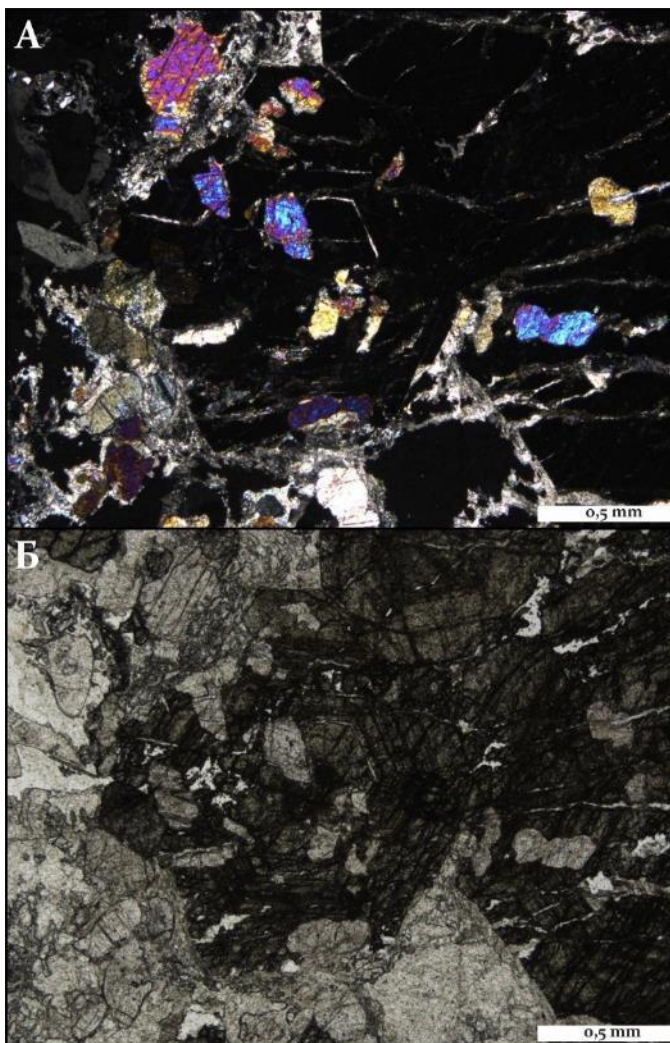


Рис. 24. А-Б – зерна эпидота в крупном зерне граната; (а – с анализатором, б – без анализатора);

Шеелит представлен зернами неправильной формы, который заключен в гранате в виде вкрапленности. Шеелит имеет высокий рельеф, шагреневую поверхность, близкие к эпидоту цвета интерференции, однако цвета не такие яркие (Рис. 25). У шеелита также выделяется несколько генераций, которые будут рассмотрены в разделе 3.3 Вещественный состав рудной минерализации.

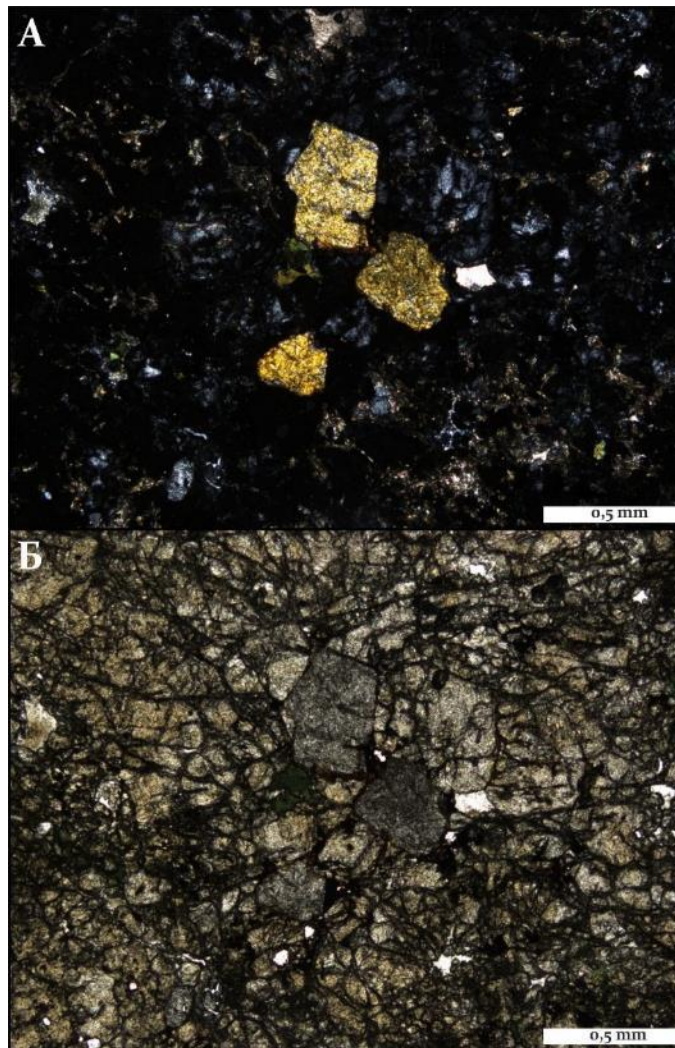


Рис. 25. А-Б – вкрапленные зерна шеелита в гранате; (а – с анализатором, б – без анализатора);

Помимо вышеописанных минералов в породах месторождения Северный Катпар также присутствуют диопсид, везувиан, актинолит, бустамит, кислый плагиоклаз (альбит-олигоклаз), калиевый полевой шпат, серицит.

Отдельно стоит отметить минеральный состав гранитов. Граниты состоят из кварца, кислого плагиоклаза (альбит-олигоклаз), полевого шпата, биотита, мусковита, акцессорных молибденита, халькопирита, пирита, флюорита, апатита, циркона, рутила, ильменита, браннерита и других минералов. С составом рутила, ильменита, ильменорутила и браннерита можно ознакомиться в Приложении 3.

Соотношение минералов в составе гранитов следующее: Q – 30-35%, Pl – 40-45%, Fsp – 20%, Bt+Mus ±Hb – 3-7% (Рис. 25). По классификации Петрографического кодекса (2008), данное соотношение характерно для лейкоплагиогранитов. Для плагиоклазов характерна серитизация и образование мирмекитов, которые представлены червеобразными кварцевыми вростками в альбит-олигоклазе (Рис. 25в).

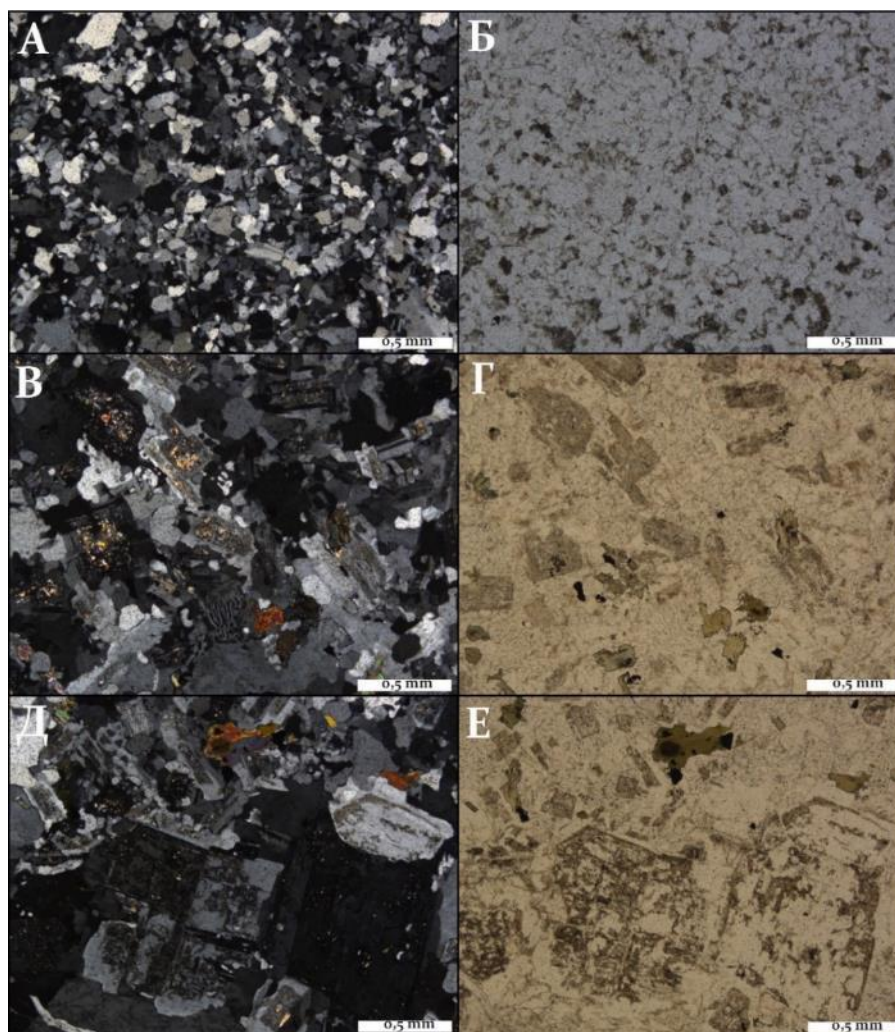


Рис. 25. А-Б – порфировидный лейкоплагιοгранит, сложенный кислым плагиоклазом, кварцем и полевым шпатом; В-Г и Д-Е – крупные зерна плагиоклаза, по которым развивается серицит, а также образование хлорита (зеленый) по биотиту; (а, в, д – с анализатором, б, г, е – без анализатора);

Граниты слабо скарнированы и интенсивно окварцованы, отмечается обильная сульфидизация, многочисленные кварцевые и кварц-полевошпатовые прожилки, секущие граниты.

### 3.3 Вещественный состав рудной минерализации

Процесс отложения рудных минералов происходил непрерывно в широком температурном диапазоне, начиная от образования скарнов и заканчивая образованием низкотемпературных сульфидов. По разнообразию минералов, условий их образования и взаимоотношению друг с другом, были выделены четыре стадии рудообразования на месторождении Северный Катпар (Таблица 1). В эти стадии включены только те минералы, которые непосредственно связаны с рудообразованием.

Первая стадия – скарновая. Эта стадия характеризуется как высокотемпературная, благодаря наличию волластонита (>450°C), а также температуре гомогенизации газовой-

жидких включений в гранате (520-420°C) (Баданина, 1998). Помимо волластонита и граната, для данной стадии рудообразования также характерны такие минералы как кальцит-1, шеелит-1 и магнетит-1. Кальцит бурого цвета первой генерации, который образует мелкие (0,5-1 мм) зерна неправильной формы и ветвистые включения в гранате. Шеелит первой генерации имеет небольшие зерна неровных очертаний и выделяется по наличию повеллитовой составляющей (Рис 26). Химический состав на СЭМ-фото: Спектр 150 -  $\text{Ca}_{0,71}(\text{W}_{0,75}\text{Mo}_{0,35})_{1,1}\text{O}_{4,00}$ ; Спектр 151 -  $\text{Ca}_{0,72}(\text{W}_{0,61}\text{Mo}_{0,49})_{1,1}\text{O}_{4,00}$ ; Спектр 152 -  $\text{Ca}_{0,77}(\text{W}_{0,72}\text{Mo}_{0,35})_{1,07}\text{O}_{4,00}$ ; От ранней генерации к поздней улучшается качество огранки кристаллов, упрощается их морфология, увеличиваются размеры выделений и снижается содержание повеллитовой составляющей (Баданина, 1998). Для магнетита первой генерации характерны как идиоморфные зерна, не затронутые изменениями, так и раздробленные зерна, по которым образовывались халькопирит и сфалерит.

**Таблица 1. Стадии Рудообразования**

Стадии Минералы	Скарновая	Грейзеновая	Ранне- гидротермальная	Поздне- гидротермальная
Кальцит-1	—————			
Гранат	—————			
Волластонит	—————			
Флюорит		—————		
Апофиллит*		—————		
Кварц		— — — — —	—————	
Магнетит-1	—————			
Шеелит-1	—————			
Молибденит		—————		
Халькопирит		—————		
Сфалерит		—————		
Борнит		—————		
Халькозин		—————		
Пирит-1		—————		
Пирит-2			—————	— — —
Минералы висмута			—————	
Галенит				—————
Гематит			—————	
Магнетит-2				—————
Кальцит-2				—————
Шеелит-2				—————
Вольфрамит				—————

\*-по материалам Баданиной, 1998.





Рис. 26. СЭМ-фото шеелита.

Вслед за скарновой стадией произошло внедрение флюида, обогащенного фтором, который концентрируется преимущественно во флюорите и является основным минерализатором грейзенового процесса. Для грейзеновой стадии характерны сульфиды меди (халькопирит, борнит, халькозин), молибденит, сфалерит, а также пирит первой генерации, который характеризуется гипидиоморфными зернами (Рис. 27).

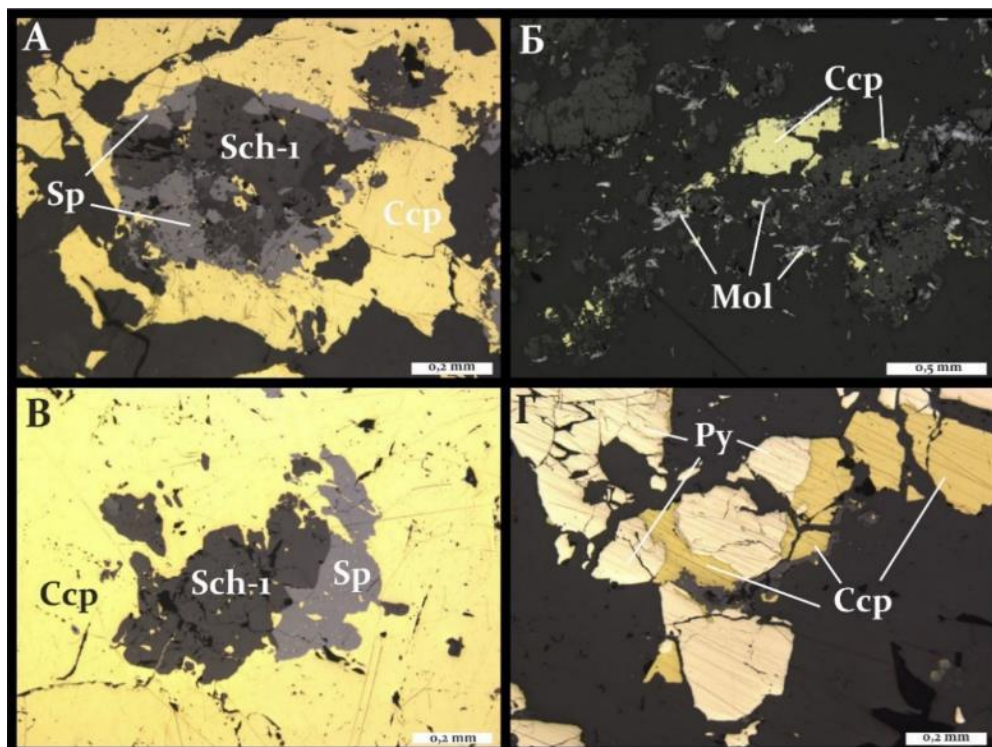


Рис. 27. Минералы грейзеновой стадии. а) Обрастание зерна шеелита скарновой стадии халькопиритом и сфалеритом; б) Пластинчатые агрегаты молибденита совместно с халькопиритом; в) Обрастание зерна шеелита скарновой стадии халькопиритом, который заполняет трещинки в шеелите, и сфалеритом; г) Совместное образование пирита и халькопирита.

Халькопирит встречается по всему разрезу и имеет широкое распространение. Присутствуют как мелкие агрегаты размером от 0,02 мм, так и крупные, которые достигают порой 7 мм.

Также широкое распространение имеет сфалерит, который встречается совместно с халькопиритом. Они относятся к семейству родственных структур, следствием чего являются частые эпитаксические срастания, что указывает на одновременность их формирования.

Молибденит встречается либо совместно с халькопиритом, либо, в основном, имеет обособленное положение от других сульфидов и формируется в виде самостоятельных чешуек и пластинок размером от 0,05 до 3 мм.

Борнит имеет не такое широкое распространение, как халькопирит, однако он образует отдельные зерна неправильной формы, агрегаты и гнезда, приуроченные к волластонитовой оторочке скарнов. Размещен равномерно по всему разрезу скважины и для него характерны графические структуры распада с халькопиритом. По краям зерен борнит замещается халькозином. Халькозин представлен в виде мелких зерен и кайм и встречается только в ассоциации с борнитом, но которому и развивается.

Средний химический состав минералов грейзеновой стадии представлен в Приложении 1.

При последующем понижении температуры и кислотности растворов отложилась сульфидная минерализация (Баданина, 1998).

Гидротермальная стадия характеризуется широким набором минералов, которые растянуты по времени образования и имеют сложные взаимоотношения друг с другом. Вследствие этого были выделены раннегидротермальная и позднегидротермальные стадии.

Для раннегидротермальной стадии характерны:

- кварц, который заполняет пустоты между зернами граната (Рис. 28а);
- пирит, имеющий идиоморфные кристаллы и формирующийся по халькопириту грейзеновой стадии (Рис. 28б);
- минералы висмута представлены разнообразными по составу минеральными формами, указанными в Приложении 2. Агрегаты минералов висмута расположены в гранат-флюоритовых прожилках (Рис. 28в). Предшественники (Баданина, 1998) также выделяли многочисленные сульфосоли: эмплектит, клапротит, козалит, галеновисмутит, рецбанит, гладит и сульфотелуриды. В рудах наиболее распространен висмутин, замещающий самородный висмут и находящийся в тесном срастании с халькопиритом;

- гематит начинает формироваться в данной стадии в виде лучистых обособленных агрегатов на границах зерен гранатов (Рис. 28а), а также совместно в комплексе с другими минералами (Рис. 28г);

Позднегидротермальная стадия характеризуется широким набором минеральных индивидов.

Кальцит-2 представлен серией тонких прожилков и заполняет межзерновое пространство гранатов.

Как было отмечено выше, шеелит-1 в своем составе содержит повеллитовую составляющую. Гидротермальный шеелит имеет чистый состав и ровные границы зерен. С полным составом шеелитов можно ознакомиться в Приложении 4.

Галенит присутствует в виде небольшой вкрапленности совместно с минералами висмута, что было подтверждено при помощи сканирующей электронной микроскопии и результаты среднего химического состава представлены в Приложении 1.

Магнетит-2 формировался в последнюю очередь. Для него характерны псевдоморфозы по гематиту. В образцах наблюдается как частичное замещение магнетитом, так и полное (Рис. 29). Минерал, который образуется при полном замещении гематита магнетитом называется мушкетовитом, а процесс частичного замещения – мушкетовитизацией.

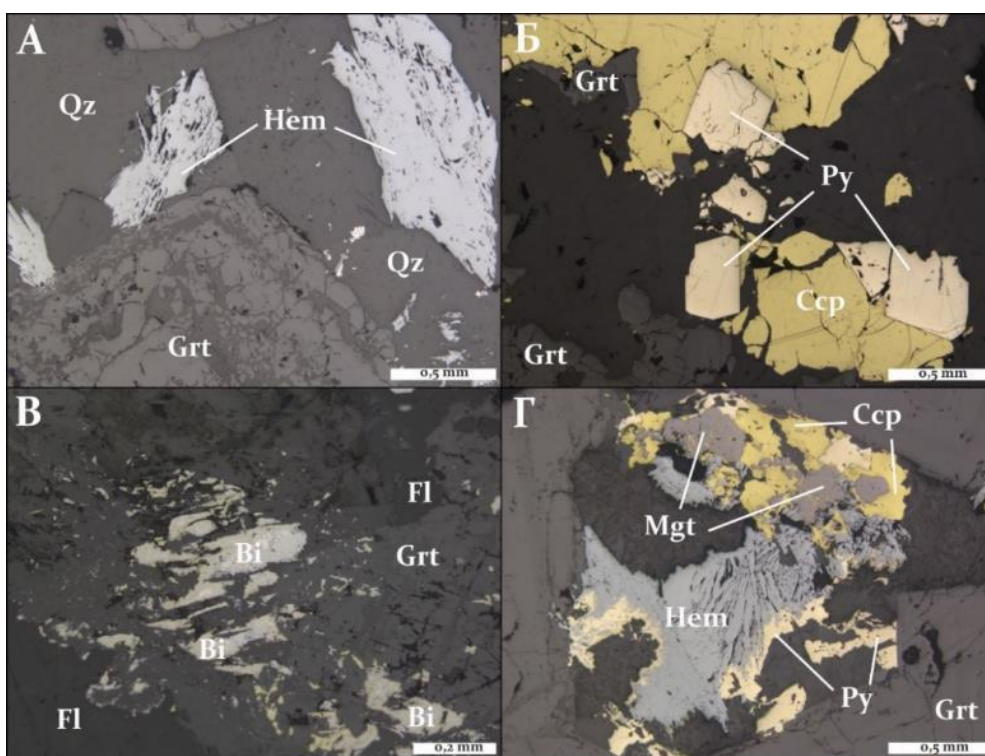


Рис. 28. Минералы ранне- и позднегидротермальных стадий. а) Заполнение кварцем межзернового пространства гранатов, в котором образуется гематит; б) Идиоморфные кристаллы

пирита совместно с халькопиритом грейзеновой стадии; в) Минералы висмута в гранат-флюоритовом прожилке; г) Магнетит-1, по которому образовались халькопирит и пирит грейзеновой стадии и гематит гидротермальной стадии;

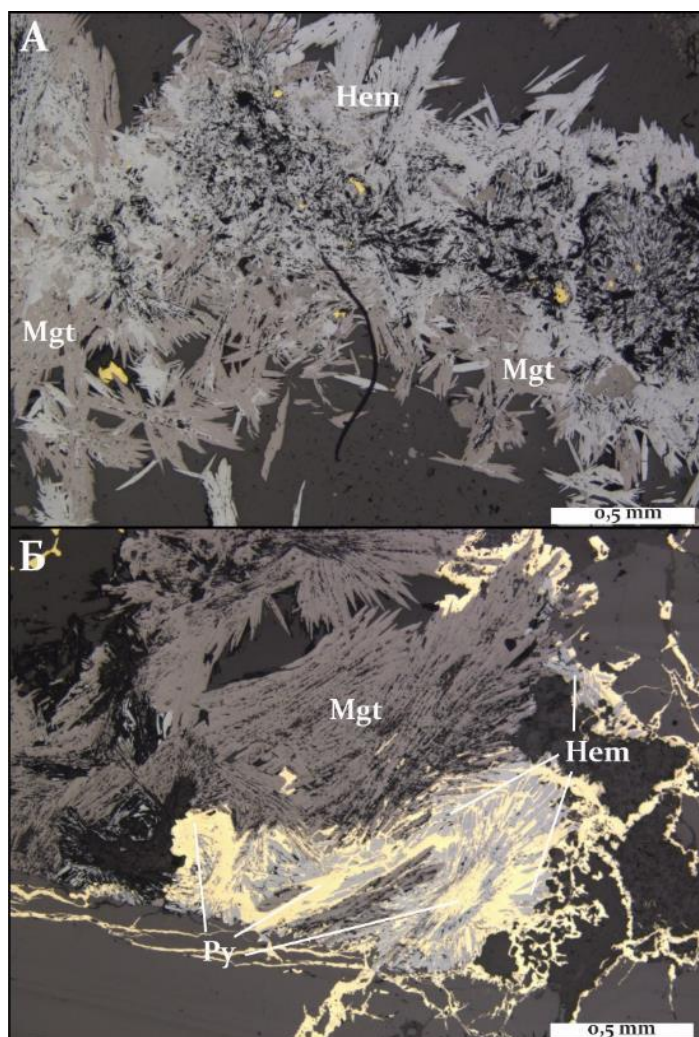


Рис. 29. Псевдоморфозы магнетита-2 по гематиту: а – частичное замещение (мушкетовитизация), б – полное замещение (образование мушкетовита);

К рудным минералам также относится вольфрамит. Он распространен не так широко, как шеелит и приурочен к нижним горизонтам эндоскарнов и гранитов. Встречается в виде мелкой вкрапленности в шеелите-2. В минеральном составе встречаются и конечные члены ряда — гюбнерит ( $MnWO_4$ ) и ферберит ( $FeWO_4$ ), но большей частью вольфрамит представляет собой смешанные кристаллы гюбнерита и ферберита (Приложение 4).

Таким образом, формирование руд протекало в 4 стадии: скарновую, грейзеновую, раннегидротермальную и позднегидротермальную.

Вкрапленное оруденение распространено повсеместно и образует гнезда, цепочки и другие выделения в гранат-флюоритовых прожилках.

Распределение рудных минералов в целом равномерно, однако их количество заметно возрастает в нижних горизонтах разреза в местах метасоматического преобразования, образуя самостоятельный пояс относительно богатых руд.

Фациальная смена минеральных ассоциаций во времени и пространстве в связи со снижением температуры обусловлена возрастанием кислотности процесса, регулирующего химические потенциалы кальция, магния и железа. Эти ассоциации характеризуются вытеснением кальция магнием, а затем магния железом.

Железо выносится — возникает волластонит. В направлении внешних границ интрузивного контакта в скарнах возрастает концентрация железа. Здесь появляются андрадит вместо гроссуляра и в массовых количествах накапливается магнетит. На поздних низкотемпературных стадиях железо представляет собой инертный элемент, а среди подвижных появляются сера и медь. В результате взаимодействия этих элементов с ранее выделившимся магнетитом образуются пирит и халькопирит (Старостин, 1997).

Согласно стадийной гипотезе П.П.Пилипенко, главная масса вещества скарнов и руд привносится извне специфическими растворами. По мере снижения температуры состав привносимых веществ меняется, обуславливая отчетливую минеральную зональность на месторождении. Она связана с различным составом вмещающих пород. Основную ценность представляют собой медно-висмут-молибден-вольфрамовые руды, сосредоточенные в различной степени измененных (флюоритизированных) скарновых жилах и прожилках. Рудоносные скарновые прожилки группируются в отдельные минерализованные штокверко-метасоматические зоны, разделенные участками безрудных и неизмененных известняков (Баданина, 1998).

#### 4. Петрохимические характеристики пород и руд

Для уточнения распределения рудных компонентов и выявления геохимических связей элементов были проведены корреляционный и факторный анализ в программе STATISTICA по результатам рентгенофазового анализа (155 анализов).

Были рассчитаны значения средних арифметического и геометрического, медианы, моды, асимметрии, эксцесса, стандартных ошибок асимметрии и эксцессов для следующих переменных: Mg, Al, Si, S, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn, Sr, Mo, W.

По результатам описательной статистики, построений графиков квантиль-квантиль и гистограмм со всего массива данных выявлено, что, нормальному распределению отвечают следующие переменные: Mg, Ca, Fe; а логнормальному: Al, S, Si, Mn, Zn, Cu, Mo, Sr, W. Элементы, отвечающие логнормальному закону распределения, были прологарифмированы.

Далее были рассчитаны коэффициенты корреляции для указанных выше переменных. Значимые корреляционные связи с Al, Cu, Fe, Sr образуют следующие элементы:

Al образует значимые корреляционные Si (56), Ca (-63), менее значимые Fe (21) Mo (19), Sr (-24), Zn (-18);

Cu образует значимые корреляционные связи с S (60), Zn (51), менее значимые Mn (36), Mo (36), W (28), Ca (21), Sr (-16);

Sr образует значимые отрицательные корреляционные связи с Fe (-61), W (-57), Mn (-50) и менее значимые отрицательные корреляционные связи Mo (-43), Si (-34), S (-28), Al (-23), Cu (-16).

Далее был построен график корреляционной зависимости для содержаний W (ось X) – Fe (ось Y) с легендой по типам пород. (Рис.30). Из него следует, что есть достаточная корреляционная связь, но не совсем высокая  $r=0,63$ . Наиболее сильна в гранатовых скарнах.

Следующим был применен метод главных компонент факторного анализа. Для выполнения данной задачи использовались следующие переменные: Mg, Al, Si, S, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn, Sr, Mo, W (с учетом результатов проверки закона распределения). По итогу были получены следующие данные и составлена таблица со значениями факторов пород и глубиной (Таблица 2) (Рис.31).

Структура факторов:

$\Phi 1 (30) = + Sr (75) / - W (80) Mn (75) Mo (67) Fe (64) Cu (55) Zn (37) Si (31)$

$\Phi 2 (21) = + Ca (90) Zn (49) Cu (39) Mn (34) Sr (25) / - Al (78) Si (74)$

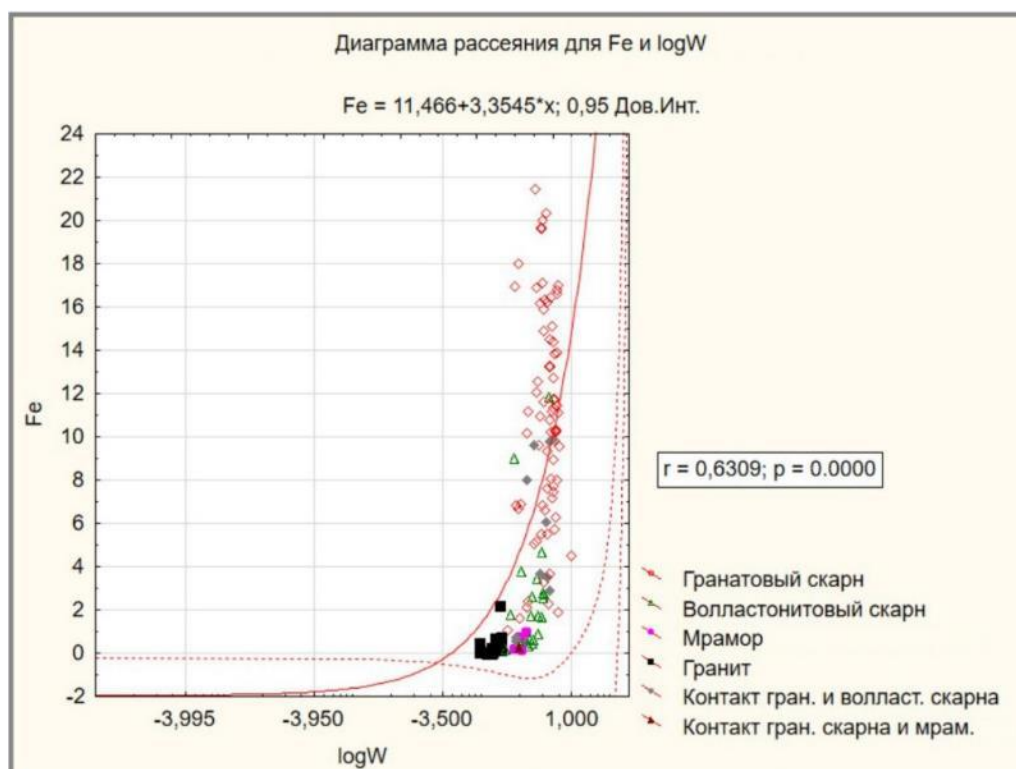


Рис 30. График корреляционной зависимости для содержаний W (ось X) – Fe (ось Y) с легендой по типам пород;

Таблица 2. Структура факторов № 1-2

Переменная	Фактор 1	Фактор 2
Mg	-0,194144	-0,081481
logAl	-0,218414	-0,783303
logSi	-0,314524	-0,742291
logS	-0,560202	0,113395
Ca	-0,046619	0,896030
logMn	-0,753292	0,344413
Fe	-0,643272	-0,169131
logCu	-0,550292	0,392025
logZn	-0,369494	0,493775
logSr	0,756386	0,257125
logMo	-0,671755	-0,049124
logW	-0,796355	-0,007863
Общ.дис.	3,578472	2,600239
Доля общ.	0,298206	0,216687

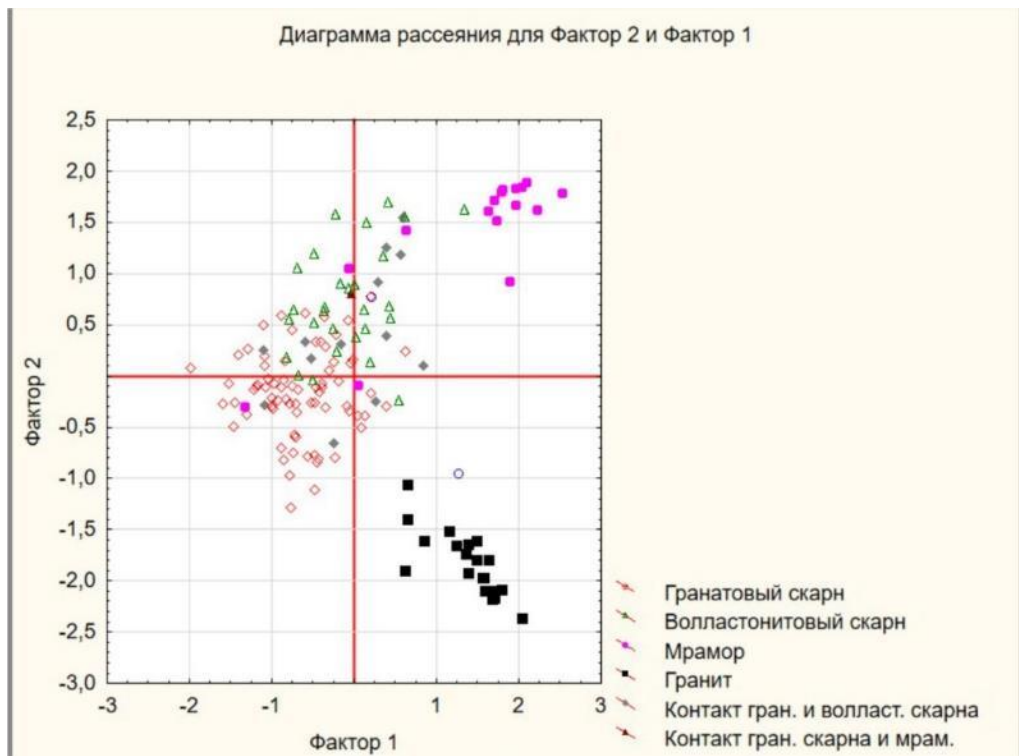


Рис. 31. Диаграмма рассеяния для 1 и 2 факторов.

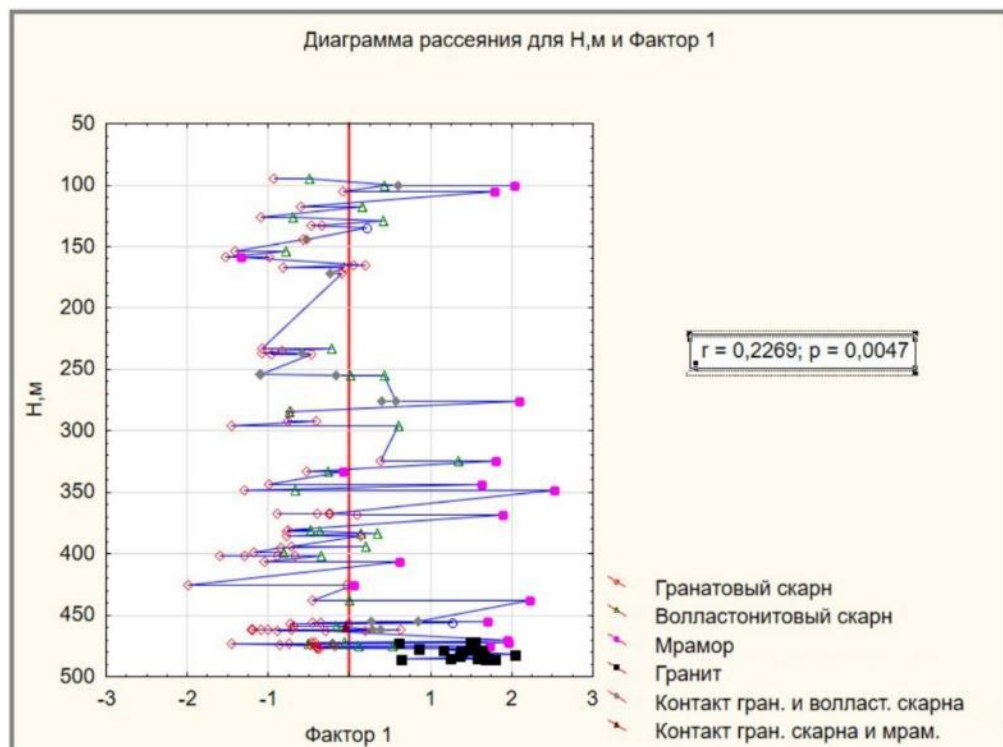


Рис 32. Диаграмма рассеяния для фактора №1.

**Фактор 1** отвечает за распределение по разрезу разных типов пород, т. к. примерно видно распределение значений каждой пород по одной стороне.



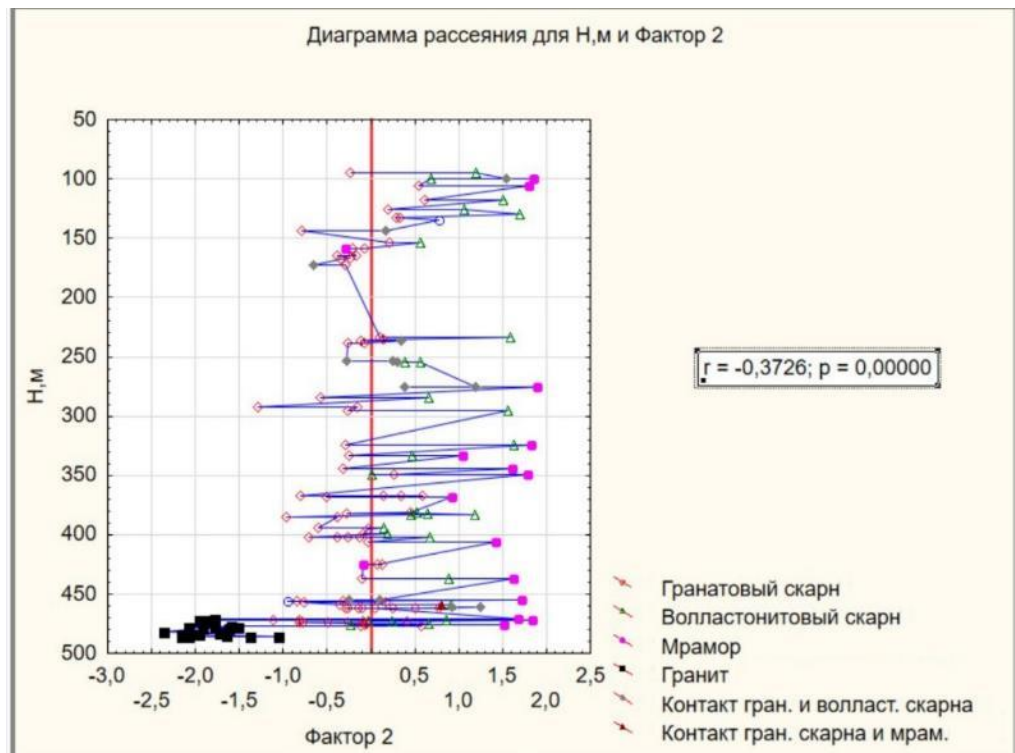


Рис 33. Диаграмма рассеяния для фактора №2.

**Фактор 2** определяет рудную минерализацию. Полезный компонент – вольфрам и сопутствующие ему молибден и медь. Руды, в которые входят вышеназванные элементы, локализуются в гранатовых скарнах, а на графике отлично видно, что скарны имеют положительные значения фактора 2.

## 5. Типоморфные особенности минералов группы граната

### 5.1 Особенности строения гранатов на месторождении

Несмотря на довольно широкое распространение гранатов в различных породах, изучению их типоморфизма не уделялось должного внимания до наших дней. Незначительная часть работ посвящена изучению гранатов пироп-альмандинового ряда, формирующихся в кимберлитовых трубках, совместно с алмазами. Но даже в таких справочниках, как «Типоморфизм минералов» (Гинзбург, 1989) нет ни одного упоминания гранатов.

Гранаты относятся к «сквозным» минералам, которые сохраняют стабильность в весьма широком диапазоне физико-химических условий и потому появляются в самых различных генетических группах и формационных типах месторождений. Также они являются типоморфными минералами известково-скарновых месторождений совместно с пироксенами (диопсид-геденбергит), эпидотом, амфиболами, хлоритами и волластонитом. Однако исследования гранатов, с точки зрения их типоморфизма, проведены не были.

Судить о возможном температурном режиме образования скарнов как раз позволяет обстановка высокого потенциала кальция и присутствия легкорастворимых солей: андрадит и гроссуляр при 950—225°C.

При изучении типоморфизма гранатов, большое внимание уделялось их составу и онтогенетическим свойствам.

Состав одних и тех же гранатов, взятых из разных горизонтов и даже в пределах одного образца, варьирует. Проявление в изменении состава зависит от положения в зональности.

На рисунке 34 видно четкое зональное строение зерен. Светлые участки содержат повышенное содержание железа (андрадитовый минал), тогда как темные участки – алюминий (гроссуляровый минал). С полным составом гранатов на рисунке 34 можно ознакомиться в Приложении 5. Для зерен, по мере роста от центра к краям, характерно уменьшение железистости (Рис. 35).

Рассматриваемые образцы были взяты в интервале от 380 до 500 метров в зоне наибольшего скарнирования. Концентрации андрадитового минала характерны для нижних горизонтов, в зоне перехода экзоскарнов в эндоскарны, что представлено на диаграмме 1. Гроссуляровый минал наиболее типичен для экзоскарнов, где его наибольшие концентрации наблюдаются выше по разрезу. Полный состав гранатов представлен в Приложении 6. В этом приложении отчетливо видно увеличение содержания железистости вниз по разрезу.

Содержание спессартинового минала незначительное, однако его присутствие свидетельствует, что породы были первично обогащены марганцем, что также создало предпосылки для образования бустамита. Высокое давление препятствует кристаллизации граната с высоким содержанием крупного иона марганца. Поэтому пониженная марганцовистость гранатов месторождения связана с повышенным давлением при их образовании (Диаграмма 2).

Онтогенические наблюдения над гранатами, такие как зональное и секториальное строение, а также взаимоотношения с другими индивидами позволяют выявить механизм образования кристаллов и проследить дальнейшую историю их существования.

Отчетливое строение можно наблюдать на рисунках 34 и 35. На них видно зональное строение весьма крупных гранатов. Наблюдается закономерность распределения зерен по разрезу в зависимости от их размера. Наиболее мелкие агрегаты характерны для верхних горизонтов, тогда как размеры граната в нижних горизонтах достигают 6 мм в диаметре. Механизм образования размеров кристаллов можно сравнить с образованием магматических тел: для интрузивных тел характерны крупные размеры кристаллов, что связано с постепенным остыванием и медленной кристаллизацией. В верхние горизонты уже поступают более холодные растворы, что приводит к быстрому формированию кристаллов небольшой формы. Для гранатов верхних горизонтов также не очень характерно секториальное строение.

Для гранатов гроссулярового минала характерно наибольшее влияние наложенных процессов: гранаты секут и перекрывают другие минералы (кальцит, флюорит, кварц). Для гранатов андрадитового минала наименее характерно пересечение и перекрытие другими минералами, тогда как широко развито заполнение между зерен другими минералами (кальцит, кварц, хлорит).

Выделение железа из гранатов также поспособствовало образованию магнетита и гематита гидротермальной стадии.

Проведенные исследования состава и онтогении позволили прийти к следующим выводам:

1. Размер зерен гранатов увеличивается с глубиной;
2. Отчетливое зональное строение гранатов характерно для нижних горизонтов;
3. С глубиной также увеличивается содержание андрадитового минала;
4. Спессартиновый минал характерен для зоны экзоскарнов. С глубиной содержание марганца немного уменьшается;

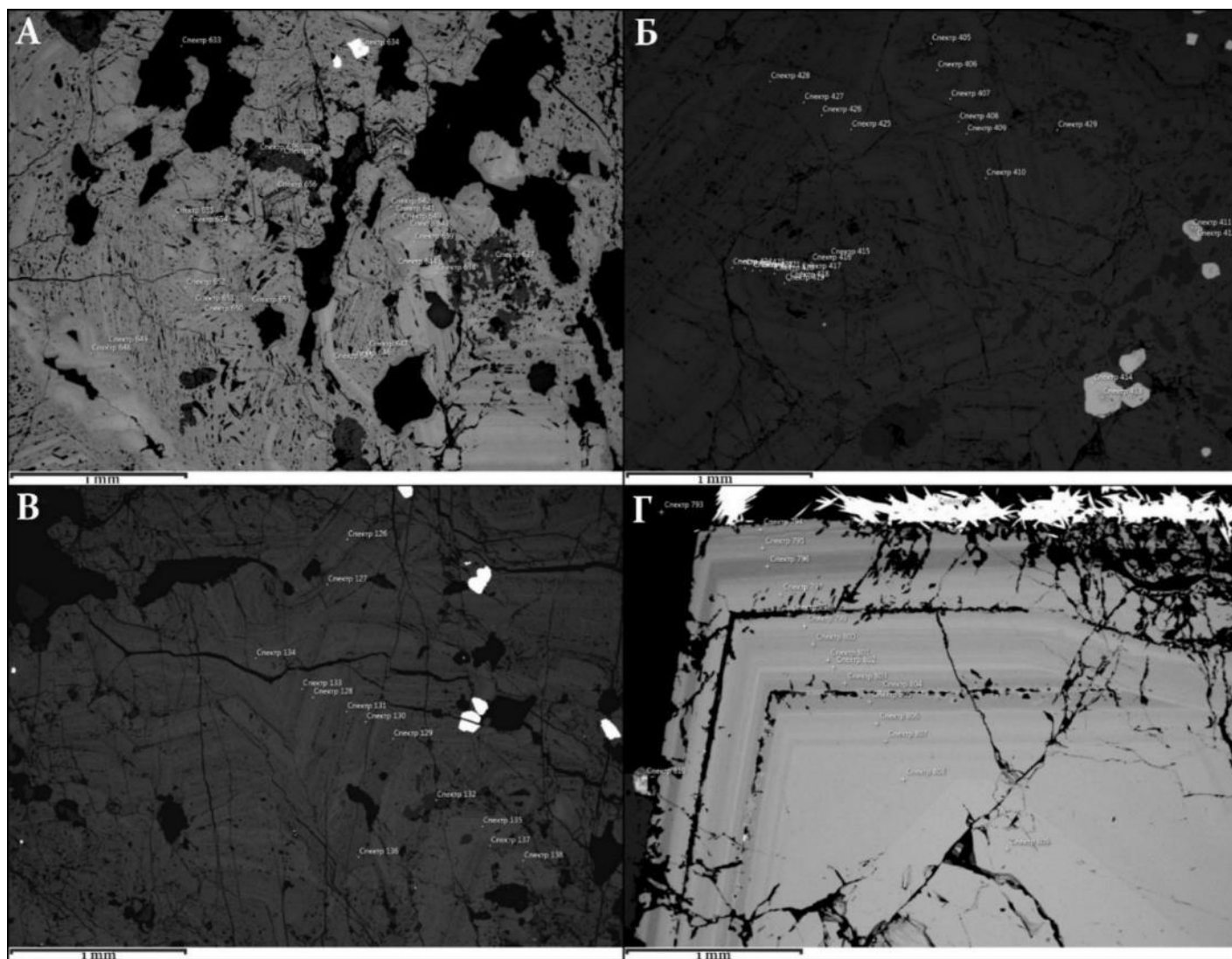


Рис. 34. СЭМ-фото, зональное строение гранатов с измеренными спектрами, состав которых представлен в Приложении 5. А – образец 385,2; Б – образец 402,1; В – образец 473; Г – образец 489,7;

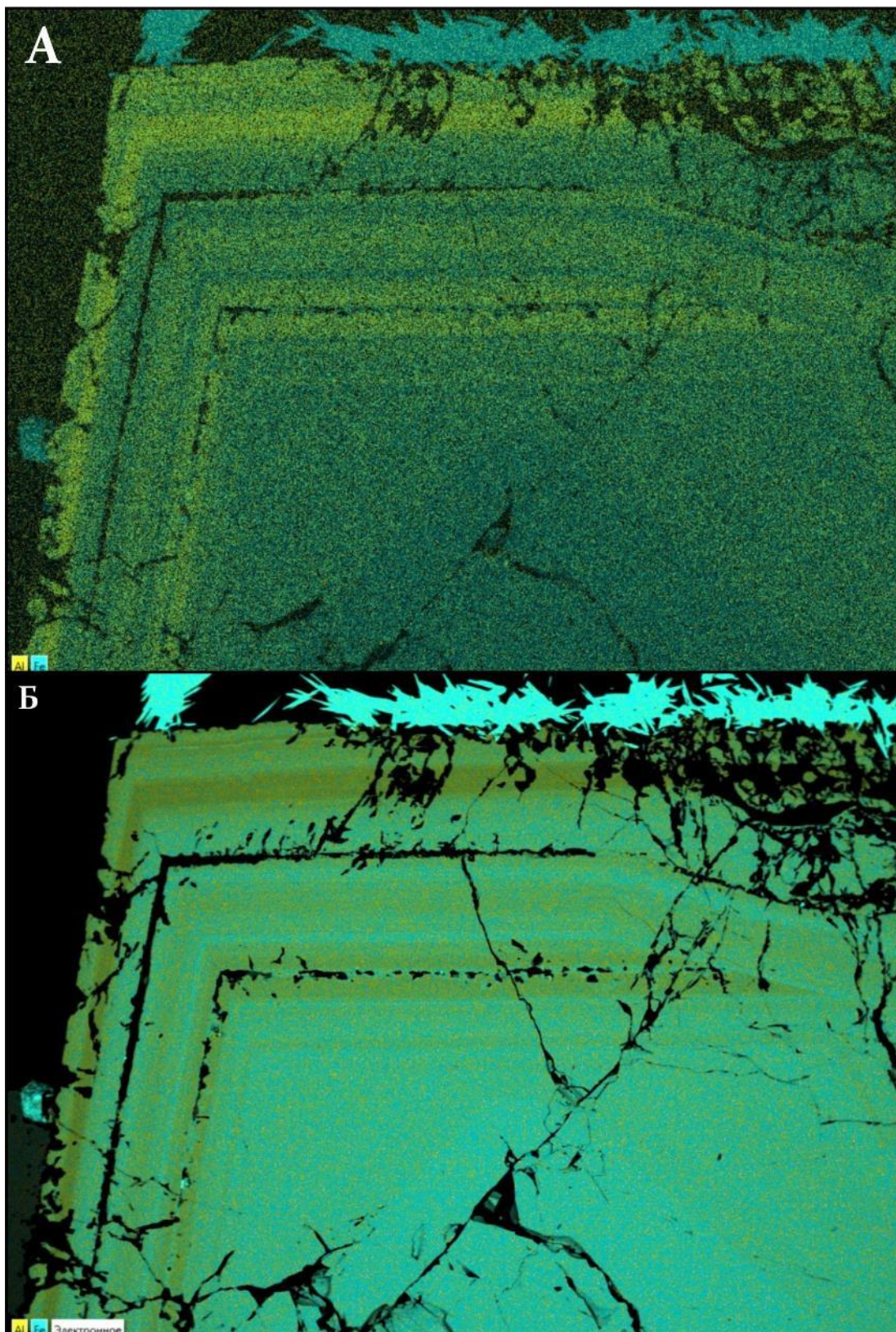
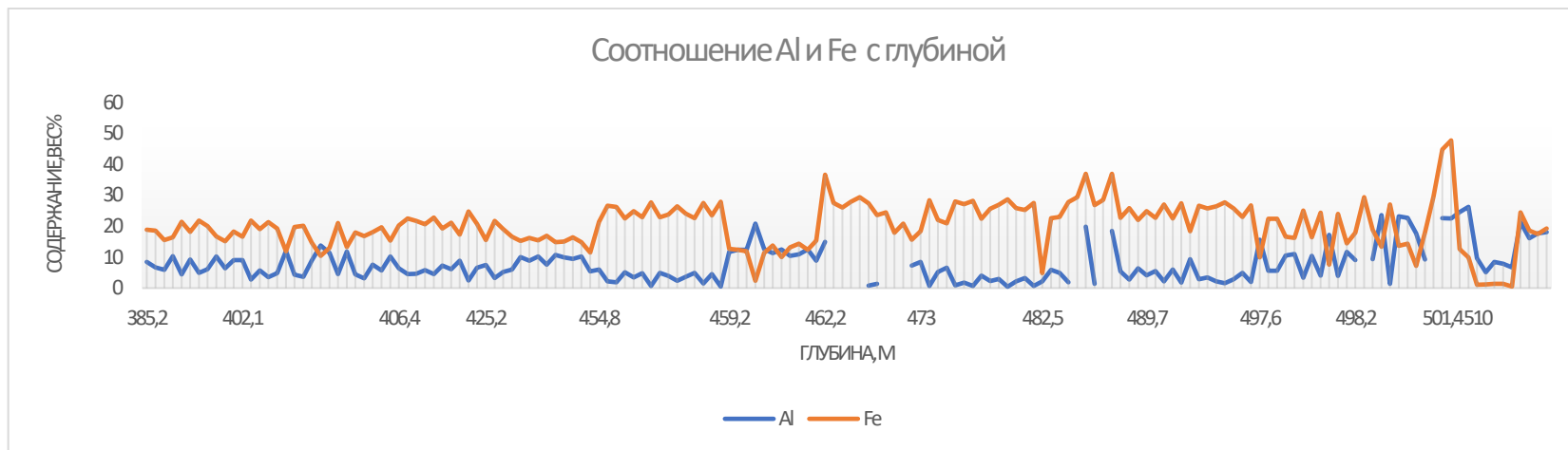
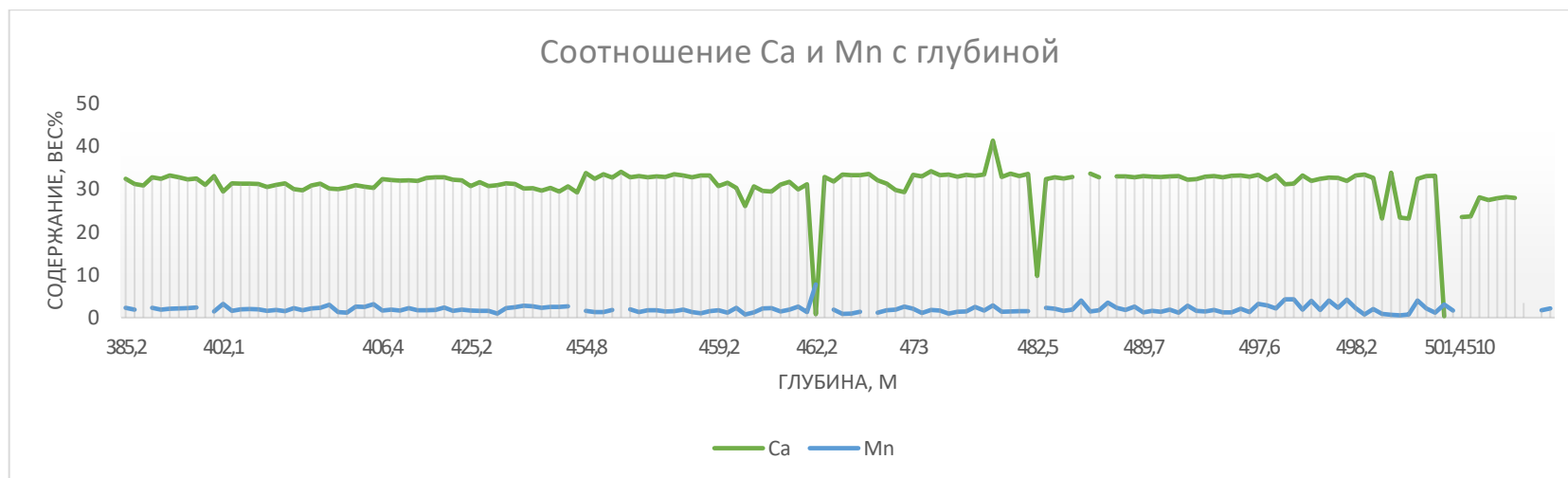


Рис. 35. Зональный гранат с картой элементов (образец 489,7). А – карта элементов: голубой спектр – Fe, желтый спектр – Al; Б – карта элементов, наложенная на СЭМ-фото;



**Диаграмма 1. Соотношение Al и Fe с увеличением глубины.**



**Диаграмма 2. Соотношение Ca и Mn с увеличением глубины.**

## 5.2 Распределение рудных компонентов в гранатовых скарнах

Скарновые шеелитовые месторождения являются одной из наиболее распространенных групп вольфрамоносных образований.

Шеелитовое оруденение обычно не выходит за пределы зон скарнирования и концентрируется главным образом в пироксеновых и гранатовых скарнах (сопутствующее оруденение) (Синяков, 1994).

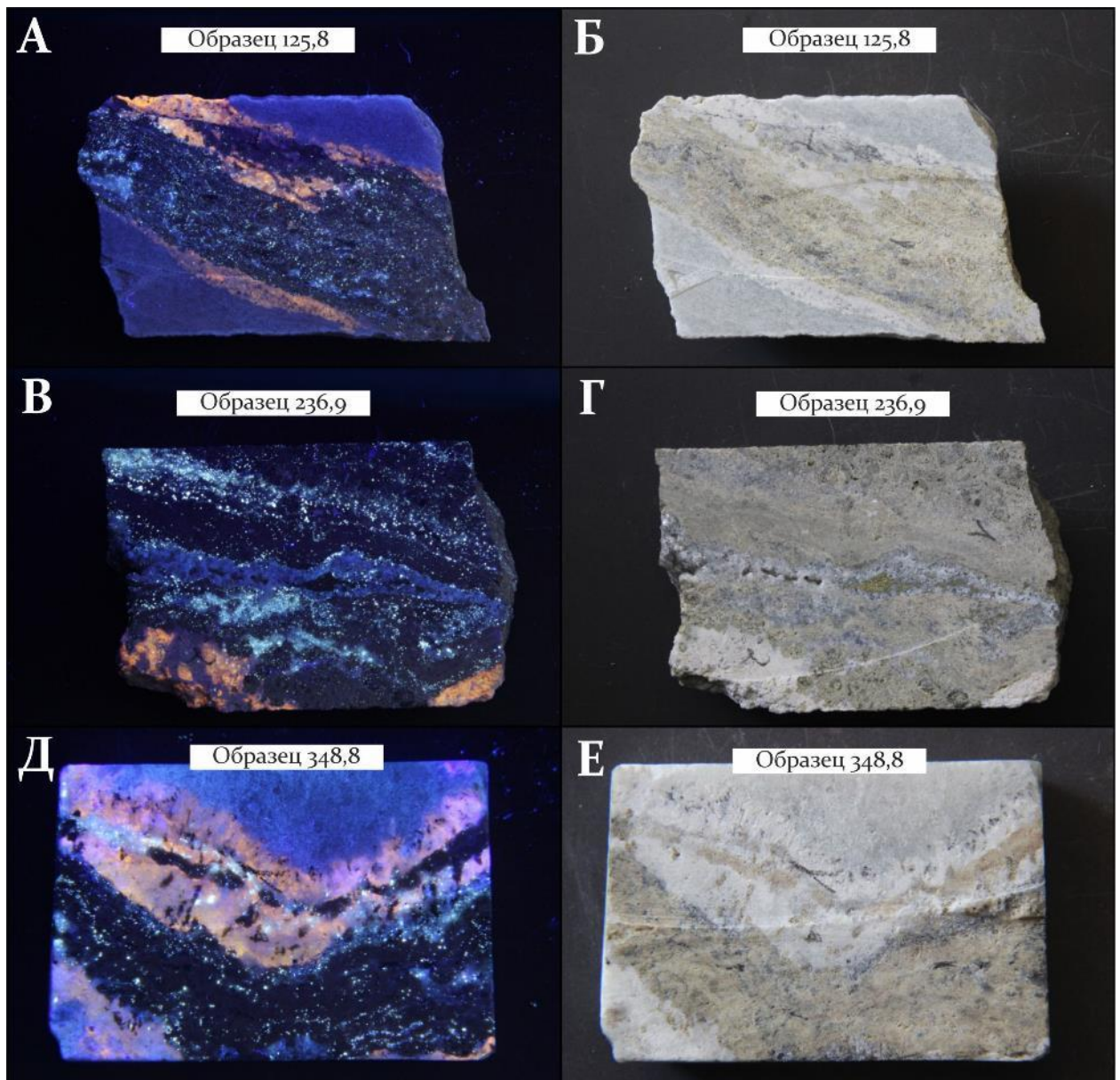
Распределение шеелита в скарнах неравномерное. Наиболее ранний шеелит образует в гранатовых скарнах мелкую (0,5-1,5 мм) вкрапленность, реже гнезда и прожилки.

Наиболее богатые шеелитовые руды приурочены к зонам дробления и участкам перекристаллизации и гидротермального изменения. Рудоносные скарны также характеризуются повышенным содержанием сульфидов (халькопирита, пирита, сфалерита, борнита, халькозина, молибдена, висмута). Молибденовая минерализация в отличие от шеелитовой имеет более широкий ореол развития и наблюдается не только в скарнах, но и среди измененных вмещающих пород: в мраморах и интрузивных породах (Синяков, 1994).

Процесс формирования молибден-вольфрамового оруденения тесно связан со скарнообразованием и подразделен на две стадии, различающиеся по физико-химическим условиям. В первую стадию, непосредственно следующую за образованием скарнов, происходило формирование основной массы шеелита и отложение небольших количеств молибдена в виде молибдошеелита. Во вторую, более позднюю, стадию произошло отложение основной массы молибдена в виде молибденита. Молибденит как более кислотофильный минерал отлагался совместно с кварцем, сульфидами меди и железа и сфалеритом в грейзеновую стадию.

При анализе состава шеелитов (Приложение 4) было установлено, что распределение чистого шеелита и молибдошеелита не связано с глубиной: в одних образцах с разных глубин присутствуют эти две разновидности. Различие наблюдается только во времени формирования. Как было отмечено выше, шеелит с повеллитовой составляющей (молибдошеелит) образовывался в скарновую стадию, тогда как чистый шеелит образовался в начале гидротермальной стадии.

Говоря про распределения шеелитового оруденения в гранатовых скарнах, стоит отметить наибольшее их скопление в нижних горизонтах. Концентрация зерен шеелита в верхних горизонтах меньше, характерна мелкая вкрапленность. С увеличением глубины происходит увеличение зерен и концентрация распределения, что показано на рисунке 36.



**Рис. 36.** Зависимость распределения шеелита в скарновых гранат-волластонитовых прожилках с увеличением глубины при анализе люминесценции. Шеелит светится мелкими голубо-белыми точками, розовый – гидротермальный кальцит, оранжевый – волластонит.

Таким образом можно говорить, что наибольшие концентрации шеелита характерны для зон перехода из экзоскарнов в эндоскарны, где широкое распространение имеет крупный гранат андрадитового состава.



Процесс формирования скарновых месторождений длительный и сложный. Вследствие периодичности тектонических движений метасоматический процесс минералообразования в данных месторождениях всегда является пульсационным и состоит из различных по масштабам импульсов минерализации — стадий (Синяков, 1987).

Были выделены следующие стадии: скарновая, грейзеновая, раннегидротермальная и позднегидротермальная. Скарновая стадия выступает как рудоподготовительная и формирует благоприятную среду для отложения руд. Грейзеновая стадия от скарновой не отделяется четким деформационным перерывом, и переход между стадиями устанавливается по смене минеральных ассоциаций. Наибольшее развитие рудных минералов произошло в гидротермальную стадию.

Рудные тела залегают не только среди скарнов, но также и в апоскарновых и околоскарновых породах, однако наибольшие концентрации рудных веществ характерны для скарнов.

Скарны обладают повышенной пористостью и большой хрупкостью, поэтому они легкопроницаемы для растворов, в связи с чем и объясняется локализация оруденения в них.

Изучение типоморфных свойств гранатов месторождения Северный Катпар позволило выделить ряд закономерностей:

1. Размеры кристаллов увеличиваются с глубиной;
2. Состав гранатов меняется с увеличением глубины от гроссулярового до андрадитового состава;
3. Гроссуляровые гранаты мелкие, андрадитовые — крупные, с четким зональным строением;
4. Шеелитовое оруденение не выходит за пределы скарнирования и наибольшие концентрации шеелита располагаются в виде вкрапленности в андрадитах;

Выявленные типоморфные особенности гранатов, позволяют использовать их в поисковой минералогии и отнести к важным минеральным индикаторам при поиске и разработке скарново-шеелитовых руд.

## Приложение 1.

### Средний химический состав минералов грейзеновой, ранне- и позднегидротермальной стадий.

Расчет формул по сере и кислороду.

Грейзеновая стадия		Гидротермальная стадия	
Минерал	Формула	Минерал	Формула
Флюорит	$\text{Ca}_{0,77}\text{F}_{2,21}$	Пирит	$\text{Fe}_{0,95}\text{S}_{2,00}$
Халькопирит	$\text{Cu}_{0,98}\text{Fe}_{0,89}\text{S}_{2,00}$	Галенит	$\text{Pb}_{1,00}\text{S}_{1,00}$
Молибденит	$\text{Mo}_{0,99}\text{S}_{2,00}$	Гематит	$\text{Fe}_{2,00}\text{O}_{3,00}$
Сфалерит	$\text{Zn}_{0,94}\text{S}_{1,00}$	Магнетит	$\text{Fe}_{3,00}\text{O}_{4,00}$
Борнит	$\text{Cu}_{4,63}\text{Fe}_{0,92}\text{S}_{4,00}$	Шеелит	$\text{Ca}_{0,78}\text{W}_{1,02}\text{O}_{4,00}$
Халькозин	$\text{Cu}_{1,87}\text{S}_{1,00}$	Вольфрамит	$(\text{Fe}_{0,48}\text{Mn}_{0,35})\text{W}_{1,04}\text{O}_{4,00}$
Пирит	$\text{Fe}_{0,95}\text{S}_{2,00}$		

## Приложение 2.

### Химический состав минералов висмута.

Расчет формул по сере и кислороду.

№ п/п	Место отбора	Концентрации элементов, вес.%									Кристаллохимическая формула	Минерал
		Cu	Fe	Mo	Ag	Pb	Bi	S	Se	Сумма		
<b>20 скважина</b>												
1	498,2	10,18	0,00	0,00	0,00	39,88	31,64	14,75	0,00	100	$Cu_{1,04}Pb_{1,26}Bi_{0,99}S_{3,00}$	Айкинит
2	498,2	12,09	0,00	0,00	0,00	43,15	29,58	15,17	0,00	100	$Cu_{1,21}Pb_{1,32}Bi_{0,9}S_{3,00}$	Айкинит
3	498,2	11,53	0,00	0,00	0,00	41,59	30,53	15,58	0,00	100	$Cu_{1,12}Pb_{1,24}Bi_{0,9}S_{3,00}$	Айкинит
4	498,2	9,36	0,00	0,00	0,00	37,98	33,81	17,99	0,00	100	$Cu_{0,79}Pb_{0,98}Bi_{0,87}S_{3,00}$	Айкинит
5	498,2	10,18	0,00	0,00	0,00	39,88	31,64	14,75	0,00	100	$Cu_{1,04}Pb_{1,26}Bi_{0,99}S_{3,00}$	Айкинит
6	498,2	0,00	0,00	0,00	11,98	32,33	38,64	14,59	0,00	100	$Ag_{3,17}Pb_{4,46}Bi_{5,28}S_{13,00}$	Урейит
7	498,2	10,71	0,00	0,00	0,00	41,31	32,07	15,02	0,00	100	$Cu_{1,08}Pb_{1,28}Bi_{0,98}S_{3,00}$	Айкинит
8	498,2	7,49	1,27	0,00	0,00	31,53	43,59	15,43	0,00	100	$(Cu_{0,73}Fe_{0,14})_{0,87}Pb_{0,95}Bi_{1,3}S_{3,00}$	Айкинит
9	499,9 (3)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	96,62	0,00	0,00	100	Bi	Сам. висмут
11	499,9 (3)	5,99	0,00	0,00	5,5	0,00	66,87	18,42	0,00	100	$(Bi_{1,67}Cu_{0,49}Ag_{0,27})_{2,43}S_{3,00}$	Висмутин
<b>15 скважина</b>												
12	406,4	39,89	0,00	0,00	0,00	0,00	40,61	19,51	0,00	100	$Cu_{3,1}Bi_{0,96}S_{3,00}$	Витиххенит
13	406,4	40,11	0,00	0,00	0,00	0,00	40,51	19,38	0,00	100	$Cu_{3,13}Bi_{0,96}S_{3,00}$	Витиххенит
14	406,4	40,59	0,00	0,00	0,00	0,00	40,23	19,18	0,00	100	$Cu_{3,2}Bi_{0,97}S_{3,00}$	Витиххенит
15	459,2	36,11	0,00	0,00	0,00	0,00	43,26	20,63	0,00	100	$Cu_{2,7}Bi_{0,98}S_{3,00}$	Витиххенит
16	459,2	36,06	0,00	0,00	0,00	0,00	41,34	20,85	0,00	100	$Cu_{2,62}Bi_{0,96}S_{3,00}$	Витиххенит
17	459,2	36,05	0,00	0,00	0,00	0,00	43,16	20,28	0,00	100	$Cu_{2,69}Bi_{0,98}S_{3,00}$	Витиххенит
18	459,2	32,98	0,00	0,00	0,00	0,00	44,85	21,29	0,00	100	$Cu_{2,35}Bi_{0,97}S_{3,00}$	Витиххенит
19	406,4	0,00	0,00	0,00	23,91	0,00	63,98	12,12	0,00	100	$Ag_{1,17}Bi_{1,62}S_{2,00}$	Матильдит

20	425,2	0,00	0,00	0,00	25	4,46	56,33	11,8	2,42	100	$(Ag_{1,25}Pb_{0,11})_{1,36}(Bi_{1,46}Se_{0,17})_{1,62}S_{2,00}$	Матильдит
21	425,2	0,00	0,00	0,00	23,33	0,00	64,84	11,83	0,00	100	$Ag_{1,17}Bi_{1,68}S_{2,00}$	Матильдит
22	425,2	0,00	6,81	12,34	0,00	0,00	78,97	0,00	0,00	100	$Bi_{1,49}(Mo_{0,38}Fe_{0,42})_{0,8}O_{6,00}$	Кёхлинит
23	425,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	97,56	0,00	0,00	100	Bi	Сам. висмут
24	474,2	33,37	0,00	0,00	0,00	0,00	44,27	21,44	0,00	100	$Cu_{2,36}Bi_{0,95}S_{3,00}$	Витиххенит
25	474,2	34,14	0,00	0,00	0,00	0,00	43,9	21,09	0,00	100	$Cu_{2,45}Bi_{0,96}S_{3,00}$	Витиххенит
26	474,2	37,07	0,00	0,00	0,00	0,00	42,05	20,27	0,00	100	$Cu_{2,77}Bi_{0,95}S_{3,00}$	Витиххенит
27	474,2	2,63	0,00	0,00	0,00	0,00	78,44	18,32	0,00	100	$(Bi_{1,93}Cu_{0,22})_{2,15}S_{3,00}$	Висмутин
28	474,2	38,37	0,00	0,00	0,00	0,00	41,28	19,81	0,00	100	$Cu_{2,93}Bi_{0,96}S_{3,00}$	Витиххенит
29	485,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	95,36	0,00	0,00	100	Bi	Сам. висмут
30	485,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100	0,00	0,00	100	Bi	Сам. висмут

### Приложение 3.

#### Химический состав минералов титана и урана.

Расчет формул по кислороду.

№ п/п	Место отбора	Концентрации элементов, вес. %										Кристаллохимическая формула
		TiO <sub>2</sub>	FeO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	WO <sub>3</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SnO	MnO	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Сумма	
<b>Рутил</b>												
1	504,7	95,64	0,5	1,01	0,00	1,49	0,51	0,86	0,00	0,00	100	(Ti <sub>0,94</sub> V <sub>0,01</sub> Fe <sub>0,005</sub> Nb <sub>0,005</sub> ) <sub>0,96</sub> O <sub>2,00</sub>
2	504,7	88,71	1,67	2,6	2,89	2,09	0,86	1,17	0,00	0,00	100	(Ti <sub>0,87</sub> V <sub>0,02</sub> Fe <sub>0,01</sub> Nb <sub>0,01</sub> W <sub>0,01</sub> ) <sub>0,92</sub> O <sub>2,00</sub>
3	504,7	88,08	1,92	1,9	4,49	2,82	0,38	0,00	0,00	0,00	100	(Ti <sub>0,87</sub> V <sub>0,02</sub> Fe <sub>0,02</sub> Nb <sub>0,01</sub> W <sub>0,01</sub> ) <sub>0,93</sub> O <sub>2,00</sub>
4	504,7	95,39	0,66	0,9	0,00	1,42	0,00	0,6	0,00	0,00	100	(Ti <sub>0,95</sub> V <sub>0,01</sub> Fe <sub>0,007</sub> Nb <sub>0,005</sub> ) <sub>0,97</sub> O <sub>2,00</sub>
5	510	88,21	2,99	1,47	5,43	1	0,00	0,9	0,00	0,00	100	(Ti <sub>0,9</sub> Fe <sub>0,03</sub> W <sub>0,02</sub> Nb <sub>0,009</sub> V <sub>0,009</sub> Sn <sub>0,005</sub> ) <sub>0,97</sub> O <sub>2,00</sub>
6	510	97,43	0,87	0,00	0,00	0,98	0,00	0,72	0,00	0,00	100	(Ti <sub>0,97</sub> Fe <sub>0,009</sub> V <sub>0,009</sub> Sn <sub>0,004</sub> ) <sub>0,99</sub> O <sub>2,00</sub>
<b>Ильменит</b>												
1	499,9 (3)	47,88	10,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	39,65	0,00	100	(Mn <sub>0,88</sub> Fe <sub>0,23</sub> ) <sub>1,11</sub> Ti <sub>0,94</sub> O <sub>3,00</sub>
2	501,4	51,35	22,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,48	0,00	100	(Mn <sub>0,57</sub> Fe <sub>0,47</sub> ) <sub>1,04</sub> Ti <sub>0,98</sub> O <sub>3,00</sub>
3	501,4	52,28	18,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	28,74	0,00	100	(Mn <sub>0,61</sub> Fe <sub>0,4</sub> ) <sub>1,01</sub> Ti <sub>0,99</sub> O <sub>3,00</sub>
4	501,4	52,6	13,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	33,71	0,00	100	(Mn <sub>0,72</sub> Fe <sub>0,29</sub> ) <sub>1,01</sub> Ti <sub>1,00</sub> O <sub>3,00</sub>
5	501,4	51,6	11,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	36,61	0,00	100	(Mn <sub>0,79</sub> Fe <sub>0,25</sub> ) <sub>1,04</sub> Ti <sub>0,98</sub> O <sub>3,00</sub>
6	501,4	50,65	16,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	30,92	0,00	100	(Mn <sub>0,68</sub> Fe <sub>0,35</sub> ) <sub>1,03</sub> Ti <sub>0,98</sub> O <sub>3,00</sub>
7	501,4	51,87	23,46	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	24,67	0,00	100	(Mn <sub>0,53</sub> Fe <sub>0,5</sub> ) <sub>1,03</sub> Ti <sub>0,99</sub> O <sub>3,00</sub>
8	510	51,13	19,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	29,69	0,00	100	(Mn <sub>0,64</sub> Fe <sub>0,4</sub> ) <sub>1,04</sub> Ti <sub>0,98</sub> O <sub>3,00</sub>
<b>Ильменорутил</b>												
1	501,4	73,76	7,96	11,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,87	100	(Ti <sub>0,74</sub> Fe <sub>0,09</sub> Nb <sub>0,07</sub> Ta <sub>0,02</sub> ) <sub>0,92</sub> O <sub>2,00</sub>
2	501,4	71,22	7,71	9,92	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,09	100	(Ti <sub>0,73</sub> Fe <sub>0,08</sub> Nb <sub>0,06</sub> Ta <sub>0,03</sub> ) <sub>0,9</sub> O <sub>2,00</sub>
3	501,4	68,83	6,9	12,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,53	100	(Ti <sub>0,72</sub> Fe <sub>0,08</sub> Nb <sub>0,08</sub> Ta <sub>0,02</sub> ) <sub>0,9</sub> O <sub>2,00</sub>

4	501,4	73,04	5,92	11,46	2,4	1,29	0,00	04	0,00	3,6	100	$(\text{Ti}_{0,72}\text{Fe}_{0,07}\text{Nb}_{0,07}\text{Ta}_{0,01}\text{V}_{0,01}\text{W}_{0,008}\text{Sn}_{0,003})_{0,9}\text{O}_{2,00}$
5	501,4	83,45	4,09	7,7	1,98	0,00	0,00	0,87	0,00	1,91	100	$(\text{Ti}_{0,83}\text{Fe}_{0,05}\text{Nb}_{0,05}\text{Ta}_{0,006}\text{W}_{0,006}\text{Sn}_{0,005})_{0,95}\text{O}_{2,00}$
6	501,4	79,78	5,35	9,89	1,47	0,75	0,00	0,00	0,00	2,45	100	$(\text{Ti}_{0,78}\text{Fe}_{0,06}\text{Nb}_{0,06}\text{Ta}_{0,009}\text{V}_{0,006}\text{W}_{0,005})_{0,92}\text{O}_{2,00}$
7	501,4	83,58	4,52	9,17	0,00	1,34	0,00	0,65	0,00	0,00	100	$(\text{Ti}_{0,81}\text{Fe}_{0,05}\text{Nb}_{0,05}\text{V}_{0,01}\text{Sn}_{0,003})_{0,92}\text{O}_{2,00}$
8	501,4	71,26	6,71	10,4	2,47	1,37	0,00	0,00	0,00	7,79	100	$(\text{Ti}_{0,7}\text{Fe}_{0,07}\text{Nb}_{0,06}\text{Ta}_{0,02}\text{V}_{0,01}\text{W}_{0,008})_{0,87}\text{O}_{2,00}$
9	504,7	80,44	3,57	3,59	8,1	2,87	0,62	0,81	0,00	0,00	100	$(\text{Ti}_{0,81}\text{Fe}_{0,04}\text{W}_{0,03}\text{V}_{0,02}\text{Nb}_{0,02})_{0,92}\text{O}_{2,00}$
10	504,7	81,48	6,01	11,16	0,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100	$(\text{Ti}_{0,8}\text{Nb}_{0,07}\text{Fe}_{0,07}\text{W}_{0,003})_{0,94}\text{O}_{2,00}$
11	504,7	74,26	5,88	7,84	2,83	1,32	0,00	0,00	0,00	7,87	100	$(\text{Ti}_{0,74}\text{Fe}_{0,06}\text{Nb}_{0,05}\text{Ta}_{0,02}\text{V}_{0,01}\text{W}_{0,01})_{0,89}\text{O}_{2,00}$
12	504,7	81,59	4,95	6,17	1,93	0,00	0,00	0,00	0,00	5,37	100	$(\text{Ti}_{0,7}\text{Fe}_{0,06}\text{Nb}_{0,04}\text{Ta}_{0,02}\text{W}_{0,007})_{0,83}\text{O}_{2,00}$
13	504,7	79,97	4,71	5,69	1,64	1,37	0,00	0,69	0,00	5,93	100	$(\text{Ti}_{0,8}\text{Fe}_{0,05}\text{Nb}_{0,03}\text{Ta}_{0,02}\text{V}_{0,01}\text{W}_{0,005})_{0,91}\text{O}_{2,00}$
14	504,7	83,89	5,41	9	0,00	0,97	0,00	0,00	0,00	0,18	100	$(\text{Ti}_{0,82}\text{Fe}_{0,06}\text{Nb}_{0,05})_{0,93}\text{O}_{2,00}$

№ п/п	Место отбора	Концентрации элементов, вес. %										Кристаллохимическая формула
		TiO2	CaO	SiO2	Al2O3	FeO	Nb2O5	MnO	Sc2O3	Y2O3	Сумма	
<b>Титанит</b>												
1	499,9 (3)	30,2	29,04	31,38	5,14	2,43	0,00	0,00	0,00	0,00	98,2	$\text{Ca}_{0,98}(\text{Ti}_{0,71}\text{Al}_{0,19}\text{Fe}_{0,006})_{0,96}\text{Si}_{0,98}\text{O}_{5,00}$
2	499,9 (3)	31,72	27,76	32,17	3,46	3,66	0,00	0,64	0,59	0,00	100	$(\text{Ca}_{0,93}\text{Sc}_{0,02})_{0,95}(\text{Ti}_{0,75}\text{Al}_{0,13}\text{Fe}_{0,01}\text{Mn}_{0,02})_{1,00}\text{Si}_{1,01}\text{O}_{5,00}$
3	501,4	22,06	28,75	31,23	10,89	0,78	3,59	0,00	0,00	0,00	96,53	$\text{Ca}_{0,89}(\text{Ti}_{0,48}\text{Al}_{0,37}\text{Nb}_{0,1}\text{Fe}_{0,02})_{0,89}\text{Si}_{0,88}\text{O}_{5,00}$
4	501,4	21,91	27,94	30,48	8,47	0,00	8,18	0,00	0,00	0,00	97,76	$\text{Ca}_{0,87}(\text{Ti}_{0,48}\text{Al}_{0,29}\text{Nb}_{0,05})_{0,9}\text{Si}_{0,9}\text{O}_{5,00}$
5	501,4	23,89	28,75	31,76	10,24	0,00	1,96	0,00	0,00	0,00	96,61	$\text{Ca}_{0,9}(\text{Ti}_{0,53}\text{Al}_{0,35}\text{Nb}_{0,03})_{0,91}\text{Si}_{0,93}\text{O}_{5,00}$
6	501,4	27,57	28,68	30,86	7,3	1,78	1,24	0,00	0,00	0,00	97,43	$\text{Ca}_{0,94}(\text{Ti}_{0,63}\text{Al}_{0,26}\text{Fe}_{0,05}\text{Nb}_{0,02})_{0,96}\text{Si}_{0,94}\text{O}_{5,00}$
7	501,4	23,82	25,18	30,92	6,08	3,31		0,00	0,00	5,83	97,83	$(\text{Ca}_{0,83}\text{Y}_{0,1})_{0,93}(\text{Ti}_{0,55}\text{Al}_{0,22}\text{Fe}_{0,09}\text{Nb}_{0,02})_{0,9}\text{Si}_{0,94}\text{O}_{5,00}$
8	504,7	30,46	27,31	32,26	6,98	0,00	0,86	0,00	0,00	0,00	98,1	$\text{Ca}_{0,87}(\text{Ti}_{0,68}\text{Al}_{0,24}\text{W}_{0,02}\text{Nb}_{0,01})_{1,13}\text{Si}_{0,96}\text{O}_{5,00}$

9	504,7	30,73	27,65	31,34	7,07	0,00	0,85	0,00	0,00	0,00	98,03	$\text{Ca}_{0,9}(\text{Ti}_{0,7}\text{Al}_{0,25}\text{Nb}_{0,01})_{0,96}\text{Si}_{0,96}\text{O}_{5,00}$
10	504,7	34,61	28,76	31,35	3,85	0,6	0,83	0,00	0,00	0,00	100	$\text{Ca}_{0,95}(\text{Ti}_{0,81}\text{Al}_{0,14}\text{Fe}_{0,02}\text{Nb}_{0,01})_{0,98}\text{Si}_{0,97}\text{O}_{5,00}$
11	504,7	29,15	28,35	31,66	8,15	0,58	0,00	0,00	0,00	0,00	97,91	$\text{Ca}_{0,91}(\text{Ti}_{0,66}\text{Al}_{0,29}\text{Fe}_{0,01})_{0,96}\text{Si}_{0,95}\text{O}_{5,00}$
12	510	27,22	27,7	32,12	6,52	2,73	0,00	0,00	0,00	0,00	96,99	$\text{Ca}_{0,93}(\text{Ti}_{0,64}\text{Al}_{0,24}\text{Fe}_{0,07})_{0,95}\text{Si}_{1,00}\text{O}_{5,00}$

№ п/п	Место отбора	Концентрации элементов, вес. %										Кристаллохимическая формула
		UO2	ThO2	Y2O3	CaO	TiO2	Nb2O5	FeO	Nd2O5	PbO	Сумма	
<b>Браннерит</b>												
1	504,7	50,79	4,94	0,00	5,02	36,02	0,00	1,95	0,00	1,3	100	$(\text{U}_{0,78}\text{Ca}_{0,37}\text{Th}_{0,07})_{1,22}(\text{Ti}_{1,87}\text{Fe}_{0,11}\text{Pb}_{0,02})_{2,00}\text{O}_{6,00}$
2	504,7	42,85	5,99	3,14	4,19	37,24	1,16	1,68	1,54	1,02	100	$(\text{U}_{0,63}\text{Ca}_{0,3}\text{Y}_{0,11}\text{Th}_{0,09}\text{Nd}_{0,04})_{1,17}(\text{Ti}_{1,86}\text{Fe}_{0,09}\text{Nb}_{0,03}\text{Pb}_{0,01})_{1,99}\text{O}_{6,00}$
3	504,7	44,81	9,38	1,09	4,34	35,22	0,00	2,37	0,00	2,19	100	$(\text{U}_{0,69}\text{Ca}_{0,32}\text{Th}_{0,15}\text{Y}_{0,04})_{1,2}(\text{Ti}_{1,84}\text{Fe}_{0,14}\text{Pb}_{0,04})_{2,02}\text{O}_{6,00}$
4	504,7	32,71	14,62	4,18	4,75	40	0,00	2,85	0,00	0,00	100	$(\text{U}_{0,49}\text{Ca}_{0,34}\text{Th}_{0,22}\text{Y}_{0,04})_{1,09}(\text{Ti}_{2,801}\text{Fe}_{0,16})_{2,17}\text{O}_{6,00}$
5	504,7	47,14	8,72	0,00	6,47	33,75	0,00	2,68	0,00	1,24	100	$(\text{U}_{0,73}\text{Ca}_{0,48}\text{Th}_{0,14})_{1,35}(\text{Ti}_{1,77}\text{Fe}_{0,16}\text{Pb}_{0,02})_{1,95}\text{O}_{6,00}$
6	504,7	44,6	8,55	1,94	5,32	34,17	1,74	1,7	0,00	1,38	100	$(\text{U}_{0,67}\text{Ca}_{0,39}\text{Th}_{0,13}\text{Y}_{0,07})_{1,26}(\text{Ti}_{1,75}\text{Fe}_{0,1}\text{Pb}_{0,03})_{1,88}\text{O}_{6,00}$
7	504,7	30,09	14,55	4,42	4,62	39,18	1,53	2,99	1,23	0,64	100	$(\text{U}_{0,43}\text{Ca}_{0,32}\text{Th}_{0,21}\text{Nd}_{0,03}\text{Y}_{0,15})_{1,14}(\text{Ti}_{1,88}\text{Fe}_{0,16}\text{Pb}_{0,01})_{2,05}\text{O}_{6,00}$
8	504,7	48	8,34	0,00	5,27	33,75	0,00	2,97	0,00	1,67	100	$(\text{U}_{0,75}\text{Ca}_{0,4}\text{Th}_{0,13})_{1,28}(\text{Ti}_{1,78}\text{Fe}_{0,17}\text{Pb}_{0,03})_{1,98}\text{O}_{6,00}$
9	504,7	29,57	10,51	5,88	5,12	39,06	4,3	1,87	0,00	0,00	100	$(\text{U}_{0,39}\text{Ca}_{0,34}\text{Y}_{0,19}\text{Th}_{0,14}\text{Nd}_{0,05})_{1,11}(\text{Ti}_{1,74}\text{Nb}_{0,14}\text{Fe}_{0,1})_{1,98}\text{O}_{6,00}$
10	504,7	42,82	7,1	2,19	5,89	36,96	1,85	0,57	0,00	1,34	100	$(\text{U}_{0,63}\text{Ca}_{0,42}\text{Th}_{0,11}\text{Y}_{0,08})_{1,24}(\text{Ti}_{1,83}\text{Fe}_{0,03}\text{Pb}_{0,02})_{1,88}\text{O}_{6,00}$

## Приложение 4.

### Химический состав минералов вольфрама (шеелит, молибдошеелит, вольфрамит).

Расчет формул по кислороду.

№ п/п	Место отбора	Концентрации элементов, вес. %								Кристаллохимическая формула
		CaO	WO <sub>3</sub>	MoO <sub>3</sub>	FeO	MnO	SrO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Сумма	
<b>15 скважина</b>										
1	385,2	18,6	71,67	9,74	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,77</sub> (W <sub>0,83</sub> Mo <sub>0,24</sub> ) <sub>1,07</sub> O <sub>4,00</sub>
2	385,2	17,58	70,81	11,61	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,72</sub> (W <sub>0,81</sub> Mo <sub>0,28</sub> ) <sub>1,09</sub> O <sub>4,00</sub>
3	385,2	18,74	77,51	3,03	0,72	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,83</sub> (W <sub>0,97</sub> Mo <sub>0,08</sub> Fe <sub>0,02</sub> ) <sub>1,07</sub> O <sub>4,00</sub>
4	385,2	19,29	70,98	9,73	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,8</sub> (W <sub>0,83</sub> Mo <sub>0,24</sub> ) <sub>1,07</sub> O <sub>4,00</sub>
5	385,2	18,95	72,85	8,2	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,8</sub> (W <sub>0,86</sub> Mo <sub>0,2</sub> ) <sub>1,06</sub> O <sub>4,00</sub>
6	402,1	16,49	78,42	5,09	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,72</sub> (W <sub>0,96</sub> Mo <sub>0,13</sub> ) <sub>0,99</sub> O <sub>4,00</sub>
7	402,1	18,45	45,67	35,88	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,61</sub> (Mo <sub>0,7</sub> W <sub>0,43</sub> ) <sub>1,13</sub> O <sub>4,00</sub>
8	402,1	16,6	69,53	7,99	0,00	0,00	5,89	0,00	100	(Ca <sub>0,71</sub> Sr <sub>0,16</sub> ) <sub>0,87</sub> (W <sub>0,84</sub> Mo <sub>0,2</sub> ) <sub>1,04</sub> O <sub>4,00</sub>
9	402,1	15,53	57,34	21,93	0,00	0,00	5,2	0,00	100	(Ca <sub>0,59</sub> Sr <sub>0,13</sub> ) <sub>0,72</sub> (W <sub>0,61</sub> Mo <sub>0,49</sub> ) <sub>1,1</sub> O <sub>4,00</sub>
10	402,1	15,7	71,24	6,5	0,00	0,00	6,55	0,00	100	(Ca <sub>0,68</sub> Sr <sub>0,18</sub> ) <sub>0,86</sub> (W <sub>0,88</sub> Mo <sub>0,17</sub> ) <sub>1,05</sub> O <sub>4,00</sub>
11	406,4	20,47	63,96	9,76	0,00	0,00	5,81	0,00	100	(Ca <sub>0,86</sub> Sr <sub>0,16</sub> ) <sub>1,03</sub> (W <sub>0,75</sub> Mo <sub>0,24</sub> ) <sub>0,99</sub> O <sub>4,00</sub>
12	406,4	19,85	70,68	9,47	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,83</sub> (W <sub>0,83</sub> Mo <sub>0,23</sub> ) <sub>1,06</sub> O <sub>4,00</sub>
13	406,4	25,48	26,07	48,45	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,77</sub> (Mo <sub>0,86</sub> W <sub>0,22</sub> ) <sub>1,08</sub> O <sub>4,00</sub>
14	406,4	20,62	65,01	14,37	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,82</sub> (W <sub>0,73</sub> Mo <sub>0,33</sub> ) <sub>1,06</sub> O <sub>4,00</sub>
15	406,4	19,66	74,74	5,6	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,85</sub> (W <sub>0,91</sub> Mo <sub>0,14</sub> ) <sub>1,05</sub> O <sub>4,00</sub>
16	406,4	20,73	63,35	15,92	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,81</sub> (W <sub>0,7</sub> Mo <sub>0,37</sub> ) <sub>1,07</sub> O <sub>4,00</sub>
17	406,4	19,03	67,95	7,53	0,45	0,00	5,03	0,00	100	(Ca <sub>0,82</sub> Sr <sub>0,14</sub> Fe <sub>0,02</sub> ) <sub>0,98</sub> (W <sub>0,82</sub> Mo <sub>0,19</sub> ) <sub>1,01</sub> O <sub>4,00</sub>
18	406,4	19,48	76,07	4,45	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,85</sub> (W <sub>0,94</sub> Mo <sub>0,11</sub> ) <sub>1,05</sub> O <sub>4,00</sub>
19	406,4	19,94	68,18	11,12	0,77	0,00	0,00	0,00	100	(Ca <sub>0,82</sub> Fe <sub>0,02</sub> ) <sub>0,84</sub> (W <sub>0,79</sub> Mo <sub>0,27</sub> ) <sub>1,06</sub> O <sub>4,00</sub>



20	406,4	19,55	70,01	5,27	0,00	0,00	5,17	0,00	100	(Ca <sub>0,86</sub> Sr <sub>0,15</sub> ) <sub>1,01</sub> (W <sub>0,86</sub> Mo <sub>0,14</sub> ) <sub>1,00</sub> O <sub>4,00</sub>
21	425,2	15,1	74,78	4,22	0,00	0,00	5,91	0,00	100	(Ca <sub>0,68</sub> Sr <sub>0,17</sub> ) <sub>0,85</sub> (W <sub>0,94</sub> Mo <sub>0,11</sub> ) <sub>1,05</sub> O <sub>4,00</sub>
22	425,2	16,25	79,96	3,79	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,72</sub> (W <sub>0,99</sub> Mo <sub>0,1</sub> ) <sub>1,00</sub> O <sub>4,00</sub>
23	425,2	17,94	76,74	5,32	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,78</sub> (W <sub>0,94</sub> Mo <sub>0,14</sub> ) <sub>1,08</sub> O <sub>4,00</sub>
24	425,2	18,23	80,63	1,14	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,83</sub> (W <sub>1,03</sub> Mo <sub>0,03</sub> ) <sub>1,06</sub> O <sub>4,00</sub>
25	425,2	18,73	80,66	0,62	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,85</sub> (W <sub>1,03</sub> Mo <sub>0,031</sub> ) <sub>1,04</sub> O <sub>4,00</sub>
26	454,8	21,75	56,35	21,89	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,81</sub> (W <sub>0,59</sub> Mo <sub>0,48</sub> ) <sub>1,07</sub> O <sub>4,00</sub>
27	454,8	21,13	58,78	20,09	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,8</sub> (W <sub>0,62</sub> Mo <sub>0,44</sub> ) <sub>1,06</sub> O <sub>4,00</sub>
28	454,8	22,86	45,28	31,86	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,78</sub> (Mo <sub>0,64</sub> W <sub>0,43</sub> ) <sub>1,07</sub> O <sub>4,00</sub>
29	454,8	19,83	70,87	9,3	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,83</sub> (W <sub>0,83</sub> Mo <sub>0,23</sub> ) <sub>1,06</sub> O <sub>4,00</sub>
30	454,8	21,16	63,42	15,42	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,83</sub> (W <sub>0,7</sub> Mo <sub>0,35</sub> ) <sub>1,05</sub> O <sub>4,00</sub>
31	454,8	19,75	70,27	5,05	0,00	0,00	4,93	0,00	100	(Ca <sub>0,87</sub> Sr <sub>0,14</sub> ) <sub>1,01</sub> (W <sub>0,87</sub> Mo <sub>0,13</sub> ) <sub>1,00</sub> O <sub>4,00</sub>
32	454,8	20,89	65,73	7,14	0,00	0,00	6,24	0,00	100	(Ca <sub>0,9</sub> Sr <sub>0,17</sub> ) <sub>1,07</sub> (W <sub>0,8</sub> Mo <sub>0,18</sub> ) <sub>0,98</sub> O <sub>4,00</sub>
33	454,8	23,83	39,7	36,47	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,79</sub> (Mo <sub>0,7</sub> W <sub>0,37</sub> ) <sub>1,07</sub> O <sub>4,00</sub>
34	454,8	20,67	67,86	11,48	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,84</sub> (W <sub>0,79</sub> Mo <sub>0,27</sub> ) <sub>1,06</sub> O <sub>4,00</sub>
35	454,8	18,95	69,22	5,2	1,34	0,00	5,28	0,00	100	(Ca <sub>0,83</sub> Sr <sub>0,15</sub> ) <sub>0,98</sub> (W <sub>0,85</sub> Mo <sub>0,13</sub> Fe <sub>0,05</sub> ) <sub>1,03</sub> O <sub>4,00</sub>
36	454,8	19,56	72,99	2,36	0,00	0,00	5,1	0,00	100	(Ca <sub>0,88</sub> Sr <sub>0,15</sub> ) <sub>1,03</sub> (W <sub>0,93</sub> Mo <sub>0,06</sub> ) <sub>0,99</sub> O <sub>4,00</sub>
37	454,8	19,28	72,05	3,91	0,00	0,00	4,76	0,00	100	(Ca <sub>0,86</sub> Sr <sub>0,14</sub> ) <sub>1,00</sub> (W <sub>0,9</sub> Mo <sub>0,1</sub> ) <sub>1,00</sub> O <sub>4,00</sub>
38	454,8	21,6	51,27	26,05	0,98	0,00	0,00	0,00	100	(Ca <sub>0,78</sub> Fe <sub>0,03</sub> ) <sub>0,81</sub> (Mo <sub>0,55</sub> W <sub>0,52</sub> ) <sub>1,07</sub> O <sub>4,00</sub>
39	454,8	20,54	67,5	11,96	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,84</sub> (W <sub>0,77</sub> Mo <sub>0,28</sub> ) <sub>1,05</sub> O <sub>4,00</sub>
40	459,2	17,65	68,85	13,51	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,71</sub> (W <sub>0,78</sub> Mo <sub>0,32</sub> ) <sub>1,10</sub> O <sub>4,00</sub>
41	459,2	17,69	77,75	4,56	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,78</sub> (W <sub>0,96</sub> Mo <sub>0,12</sub> ) <sub>1,08</sub> O <sub>4,00</sub>
42	459,2	17,49	73	9,51	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,73</sub> (W <sub>0,86</sub> Mo <sub>0,23</sub> ) <sub>1,09</sub> O <sub>4,00</sub>
43	459,2	19,25	42,06	38,68	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,63</sub> (Mo <sub>0,74</sub> W <sub>0,39</sub> ) <sub>1,13</sub> O <sub>4,00</sub>
44	459,2	17,03	70,13	12,85	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,69</sub> (W <sub>0,8</sub> Mo <sub>0,3</sub> ) <sub>1,10</sub> O <sub>4,00</sub>
45	459,2	19,23	41,36	39,4	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,69</sub> (W <sub>0,8</sub> Mo <sub>0,3</sub> ) <sub>1,10</sub> O <sub>4,00</sub>
46	459,2	19,08	48,18	32,74	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,62</sub> (Mo <sub>0,75</sub> W <sub>0,38</sub> ) <sub>1,13</sub> O <sub>4,00</sub>
47	459,2	17,68	59,71	22,6	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,66</sub> (W <sub>0,62</sub> Mo <sub>0,5</sub> ) <sub>1,12</sub> O <sub>4,00</sub>

48	459,2	17,69	57,03	25,28	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,64</sub> (W <sub>0,58</sub> Mo <sub>0,54</sub> ) <sub>1,12</sub> O <sub>4,00</sub>
49	459,2	15,72	62,72	21,56	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,59</sub> (W <sub>0,66</sub> Mo <sub>0,47</sub> ) <sub>1,13</sub> O <sub>4,00</sub>
50	459,2	18,8	60,67	20,53	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,71</sub> (W <sub>0,64</sub> Mo <sub>0,45</sub> ) <sub>1,09</sub> O <sub>4,00</sub>
51	459,2	17,27	75,63	7,1	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,74</sub> (W <sub>0,91</sub> Mo <sub>0,18</sub> ) <sub>1,09</sub> O <sub>4,00</sub>
52	459,2	16,92	73,36	9,72	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,71</sub> (W <sub>0,86</sub> Mo <sub>0,24</sub> ) <sub>1,10</sub> O <sub>4,00</sub>
53	459,2	16,28	81,48	2,24	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,73</sub> (W <sub>1,03</sub> Mo <sub>0,06</sub> ) <sub>1,09</sub> O <sub>4,00</sub>
54	459,2	18,88	41,73	39,39	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,61</sub> (Mo <sub>0,75</sub> W <sub>0,38</sub> ) <sub>1,13</sub> O <sub>4,00</sub>
55	459,2	19,05	34,24	46,72	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,59</sub> (Mo <sub>0,84</sub> W <sub>0,3</sub> ) <sub>1,14</sub> O <sub>4,00</sub>
56	459,2	15,7	74,73	9,57	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,66</sub> (W <sub>0,88</sub> Mo <sub>0,23</sub> ) <sub>1,11</sub> O <sub>4,00</sub>
57	459,2	17,02	76,3	6,69	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,73</sub> (W <sub>0,92</sub> Mo <sub>0,17</sub> ) <sub>1,09</sub> O <sub>4,00</sub>
58	459,2	17,73	56,95	25,32	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,64</sub> (W <sub>0,58</sub> Mo <sub>0,54</sub> ) <sub>1,12</sub> O <sub>4,00</sub>
59	459,2	16,73	78,25	5,02	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,73</sub> (W <sub>0,96</sub> Mo <sub>0,13</sub> ) <sub>1,09</sub> O <sub>4,00</sub>
60	459,2	17,35	69,49	13,16	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,7</sub> (W <sub>0,79</sub> Mo <sub>0,31</sub> ) <sub>1,10</sub> O <sub>4,00</sub>
61	459,2	16,14	77,04	6,82	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,69</sub> (W <sub>0,93</sub> Mo <sub>0,17</sub> ) <sub>1,10</sub> O <sub>4,00</sub>
62	459,2	17,93	59,39	22,68	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,66</sub> (W <sub>0,62</sub> Mo <sub>0,49</sub> ) <sub>1,11</sub> O <sub>4,00</sub>
63	459,2	17,86	45,14	37	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,59</sub> (Mo <sub>0,72</sub> W <sub>0,42</sub> ) <sub>1,14</sub> O <sub>4,00</sub>
64	459,2	17,05	69,57	13,38	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,69</sub> (W <sub>0,79</sub> Mo <sub>0,32</sub> ) <sub>1,11</sub> O <sub>4,00</sub>
65	462,2	0,00	79,02	0,22	12,56	7,89	0,00	0,31	100	(Fe <sub>0,46</sub> Mn <sub>0,29</sub> ) <sub>0,75</sub> (W <sub>1,05</sub> Nb <sub>0,02</sub> ) <sub>1,07</sub> O <sub>4,00</sub>
66	462,2	0,00	77,96	0,87	12,49	7,57	0,00	1,11	100	(Fe <sub>0,43</sub> Mn <sub>0,27</sub> ) <sub>0,7</sub> (W <sub>0,98</sub> Nb <sub>0,05</sub> Mo <sub>0,02</sub> ) <sub>1,05</sub> O <sub>4,00</sub>
67	462,2	17,43	82,36	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,8</sub> W <sub>1,06</sub> O <sub>4,00</sub>
68	462,2	0,00	77,67	0,29	13,45	7,95	0,00	0,64	100	(Fe <sub>0,49</sub> Mn <sub>0,29</sub> ) <sub>0,78</sub> (W <sub>1</sub> Nb <sub>0,03</sub> ) <sub>1,03</sub> O <sub>4,00</sub>
69	462,2	0,00	78,52	0,00	13,75	7,63	0,00	0,1	100	(Fe <sub>0,51</sub> Mn <sub>0,29</sub> ) <sub>0,8</sub> W <sub>1,05</sub> O <sub>4,00</sub>
70	462,2	0,00	74,86	0,57	13,48	8,65	0,00	2,44	100	(Fe <sub>0,44</sub> Mn <sub>0,28</sub> ) <sub>0,72</sub> (W <sub>0,87</sub> Nb <sub>0,12</sub> Mo <sub>0,01</sub> ) <sub>1,00</sub> O <sub>4,00</sub>
71	462,2	17,15	82,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,78</sub> W <sub>1,07</sub> O <sub>4,00</sub>
72	462,2	18	79,44	0,00	0,00	0,00	0,00	2,56	100	Ca <sub>0,72</sub> (W <sub>0,88</sub> Nb <sub>0,12</sub> ) <sub>1,00</sub> O <sub>4,00</sub>
73	462,2	13,68	86,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,63</sub> W <sub>1,12</sub> O <sub>4,00</sub>
74	462,2	16,65	82,69	0,66	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,76</sub> (W <sub>1,06</sub> Mo <sub>0,01</sub> ) <sub>1,07</sub> O <sub>4,00</sub>
75	462,2	0,00	76,7	0,00	12,38	10,93	0,00	0,00	100	(Fe <sub>0,74</sub> Mn <sub>0,42</sub> ) <sub>1,14</sub> W <sub>1,04</sub> O <sub>4,00</sub>

76	462,2	17,51	82,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,81</sub> W <sub>1,06</sub> O <sub>4,00</sub>
77	462,2	17,02	82,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,78</sub> W <sub>1,07</sub> O <sub>4,00</sub>
78	462,2	0,00	77,63	0,00	12,43	9,94	0,00	0,00	100	(Fe <sub>0,47</sub> Mn <sub>0,38</sub> ) <sub>0,85</sub> W <sub>1,05</sub> O <sub>4,00</sub>
79	462,2	0,00	76,85	0,00	9,72	13,42	0,00	0,00	100	(Fe <sub>0,37</sub> Mn <sub>0,51</sub> ) <sub>0,88</sub> W <sub>1,04</sub> O <sub>4,00</sub>
80	462,2	18,04	77,96	4	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,8</sub> (W <sub>0,96</sub> Mo <sub>0,1</sub> ) <sub>1,06</sub> O <sub>4,00</sub>
81	462,2	17,71	80,36	1,93	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,8</sub> (W <sub>1,01</sub> Mo <sub>0,05</sub> ) <sub>1,06</sub> O <sub>4,00</sub>
82	462,2	17,85	72,8	9,35	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,75</sub> (W <sub>0,86</sub> Mo <sub>0,23</sub> ) <sub>1,09</sub> O <sub>4,00</sub>
83	462,2	18,53	80,69	0,78	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,84</sub> (W <sub>1,03</sub> Mo <sub>0,03</sub> ) <sub>1,06</sub> O <sub>4,00</sub>
84	462,2	17,65	79,9	2,46	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,79</sub> (W <sub>1</sub> Mo <sub>0,06</sub> ) <sub>1,06</sub> O <sub>4,00</sub>
85	462,2	18,82	81,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,86</sub> W <sub>1,05</sub> O <sub>4,00</sub>
86	462,2	16,17	81,22	2,61	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,73</sub> (W <sub>1,02</sub> Mo <sub>0,06</sub> ) <sub>1,08</sub> O <sub>4,00</sub>
87	462,2	17,89	80,69	1,42	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,81</sub> (W <sub>1,02</sub> Mo <sub>0,04</sub> ) <sub>1,06</sub> O <sub>4,0</sub>
88	473	19,31	78,26	2,42	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,86</sub> (W <sub>0,98</sub> Mo <sub>0,06</sub> ) <sub>1,04</sub> O <sub>4,00</sub>
89	473	19,01	80,88	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,87</sub> W <sub>1,04</sub> O <sub>4,00</sub>
90	473	20,18	75,71	4,11	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,86</sub> (W <sub>0,89</sub> Mo <sub>0,1</sub> ) <sub>0,99</sub> O <sub>4,00</sub>
91	473	20,14	72,15	7,71	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,85</sub> (W <sub>0,86</sub> Mo <sub>0,19</sub> ) <sub>1,05</sub> O <sub>4,00</sub>
92	473	19,24	80,75	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,88</sub> W <sub>1,04</sub> O <sub>4,00</sub>
93	473	19,84	69,67	5,79	0,00	0,00	4,71	0,00	100	(Ca <sub>0,87</sub> Sr <sub>0,13</sub> ) <sub>1,00</sub> (W <sub>0,85</sub> Mo <sub>0,15</sub> ) <sub>1,00</sub> O <sub>4,00</sub>
94	473	19,13	80,11	0,76	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,87</sub> (W <sub>1,02</sub> Mo <sub>0,02</sub> ) <sub>1,04</sub> O <sub>4,00</sub>
95	473	19,69	75,9	0,00	0,00	0,00	4,41	0,00	100	(Ca <sub>0,91</sub> Sr <sub>0,13</sub> ) <sub>1,04</sub> W <sub>0,99</sub> O <sub>4,00</sub>
96	473	20,67	66,64	6,85	0,86	0,00	4,98	0,00	100	(Ca <sub>0,89</sub> Sr <sub>0,14</sub> ) <sub>1,03</sub> (W <sub>0,81</sub> Mo <sub>0,17</sub> Fe <sub>0,03</sub> ) <sub>1,01</sub> O <sub>4,00</sub>
97	473	20,64	69,48	9,87	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,85</sub> (W <sub>0,8</sub> Mo <sub>0,24</sub> ) <sub>1,04</sub> O <sub>4,00</sub>
98	474,2	17,98	67,1	14,92	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,71</sub> (W <sub>0,75</sub> Mo <sub>0,35</sub> ) <sub>1,10</sub> O <sub>4,00</sub>
99	474,2	19,29	58,15	22,56	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,72</sub> (W <sub>0,61</sub> Mo <sub>0,49</sub> ) <sub>1,10</sub> O <sub>4,00</sub>
100	474,2	19,54	65,36	15,1	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,77</sub> (W <sub>0,72</sub> Mo <sub>0,35</sub> ) <sub>1,07</sub> O <sub>4,00</sub>
<b>20 скважина</b>										
1	482,5	19,32	80,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,99</sub> W <sub>1,00</sub> O <sub>4,00</sub>
2	482,5	19,32	80,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100	Ca <sub>0,99</sub> W <sub>1,00</sub> O <sub>4,00</sub>

3	482,5	19,38	79,95	0,68	0,00	0,00	0,00	0,00	100	$\text{Ca}_{0,99}(\text{W}_{0,99}\text{Mo}_{0,01})_{1,00}\text{O}_{4,00}$
4	482,5	19,32	74,24	1,48	0,00	0,00	4,96	0,00	100	$(\text{Ca}_{0,99}\text{Sr}_{0,14})_{1,13}(\text{W}_{0,93}\text{Mo}_{0,03})_{0,96}\text{O}_{4,00}$
5	482,5	19,33	80,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100	$\text{Ca}_{0,99}\text{W}_{1,00}\text{O}_{4,00}$
6	497,6	19,44	72,13	2,73	0,00	0,00	5,38	0,00	100	$(\text{Ca}_{0,99}\text{Sr}_{0,15})_{1,04}(\text{W}_{0,89}\text{Mo}_{0,05})_{0,94}\text{O}_{4,00}$
7	497,6	18,92	81,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100	$\text{Ca}_{0,93}(\text{W}_{0,96}\text{Mo}_{0,05})_{1,01}\text{O}_{4,00}$
8	497,6	20,1	70,72	9,19	0,00	0,00	0,00	0,00	100	$\text{Ca}_{0,98}(\text{W}_{0,83}\text{Mo}_{0,17})_{1,00}\text{O}_{4,00}$
9	497,6	19,0	80,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100	$\text{Ca}_{0,98}\text{W}_{1,00}\text{O}_{4,00}$
10	497,6	18,87	73,02	2,9	0,00	0,00	5,21	0,00	100	$(\text{Ca}_{0,97}\text{Sr}_{0,14})_{1,11}(\text{W}_{0,9}\text{Mo}_{0,06})_{0,06}\text{O}_{4,00}$
11	497,6	19,12	78,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100	$\text{Ca}_{0,97}(\text{W}_{0,96}\text{Mo}_{0,05})_{1,01}\text{O}_{4,00}$
12	497,6	18,78	79,57	0,00	1,65	0,00	0,00	0,00	100	$\text{Ca}_{0,96}(\text{W}_{0,99}\text{Fe}_{0,06})_{1,05}\text{O}_{4,00}$
13	499,9 (3)	19,13	80,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100	$\text{Ca}_{0,98}\text{W}_{1,00}\text{O}_{4,00}$
14	499,9 (3)	18,98	81,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100	$\text{Ca}_{0,97}\text{W}_{1,00}\text{O}_{4,00}$
15	499,9 (3)	19,14	80,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100	$\text{Ca}_{0,98}\text{W}_{1,00}\text{O}_{4,00}$
16	501,4	18,34	70,23	0,00	1,97	0,6	5,59	0,00	100	$(\text{Ca}_{0,93}\text{Sr}_{0,15})_{1,08}(\text{W}_{0,86}\text{Ti}_{0,12}\text{Fe}_{0,07}\text{Mn}_{0,02})_{1,07}\text{O}_{4,00}$
17	501,4	20,44	75,93	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100	$\text{Ca}_{1,01}(\text{W}_{0,91}\text{Ti}_{0,13})_{1,04}\text{O}_{4,00}$

## Приложение 5.

### Химический состав гранатов к рисунку 34.

Расчет формул по кислороду.

№ п/п	Спектр	Концентрации элементов, вес. %							Кристаллохимическая формула
		CaO	FeO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	MnO	MgO	Сумма	
<b>385,2</b>									
1	638	30,65	18,72	3,2	45,89	1,54	0,00	100	(Ca <sub>2,58</sub> Mn <sub>0,1</sub> ) <sub>2,68</sub> (Fe <sub>1,23</sub> Al <sub>0,3</sub> ) <sub>1,53</sub> Si <sub>3,6</sub> O <sub>12,00</sub>
2	639	31,95	20,91	3,08	42,53	1,52	0,00	100	(Ca <sub>2,76</sub> Mn <sub>0,1</sub> ) <sub>2,86</sub> (Fe <sub>1,41</sub> Al <sub>0,3</sub> ) <sub>1,71</sub> Si <sub>3,42</sub> O <sub>12,00</sub>
3	640	32,53	18,06	7,88	39,34	2,2	0,00	100	(Ca <sub>2,64</sub> Mn <sub>0,14</sub> ) <sub>2,78</sub> (Fe <sub>1,44</sub> Al <sub>0,7</sub> ) <sub>2,14</sub> Si <sub>2,98</sub> O <sub>12,00</sub>
4	641	32,04	19,03	6,31	40,48	2,14	0,00	100	(Ca <sub>2,65</sub> Mn <sub>0,14</sub> ) <sub>2,79</sub> (Fe <sub>1,23</sub> Al <sub>0,6</sub> ) <sub>1,83</sub> Si <sub>3,13</sub> O <sub>12,00</sub>
5	642	32,01	15,36	10	40,41	2,21	0,00	100	(Ca <sub>2,49</sub> Mn <sub>0,14</sub> ) <sub>2,63</sub> (Fe <sub>0,93</sub> Al <sub>0,86</sub> ) <sub>1,79</sub> Si <sub>2,93</sub> O <sub>12,00</sub>
6	643	31,56	20,72	4,01	42,2	1,51	0,00	100	(Ca <sub>2,69</sub> Mn <sub>0,1</sub> ) <sub>2,79</sub> (Fe <sub>1,38</sub> Al <sub>0,38</sub> ) <sub>1,76</sub> Si <sub>3,35</sub> O <sub>12,00</sub>
7	644	32,3	14,86	11,64	38,73	2,48	0,00	100	(Ca <sub>2,48</sub> Mn <sub>0,15</sub> ) <sub>2,63</sub> (Al <sub>0,98</sub> Fe <sub>0,89</sub> ) <sub>1,87</sub> Si <sub>2,77</sub> O <sub>12,00</sub>
8	645	31,45	20,8	4,54	40,79	2,41	0,00	100	(Ca <sub>2,68</sub> Mn <sub>0,16</sub> ) <sub>2,84</sub> (Fe <sub>1,38</sub> Al <sub>0,43</sub> ) <sub>1,81</sub> Si <sub>3,25</sub> O <sub>12,00</sub>
9	646	31,86	18,13	7,8	39,66	2,56	0,00	100	(Ca <sub>2,59</sub> Mn <sub>0,16</sub> ) <sub>2,75</sub> (Fe <sub>1,15</sub> Al <sub>0,7</sub> ) <sub>1,85</sub> Si <sub>3,00</sub> O <sub>12,00</sub>
10	647	33,59	22,39	4,45	38,32	1,25	0,00	100	(Ca <sub>2,92</sub> Mn <sub>0,09</sub> ) <sub>3,01</sub> (Fe <sub>1,52</sub> Al <sub>0,42</sub> ) <sub>1,94</sub> Si <sub>3,1</sub> O <sub>12,00</sub>
11	648	31,72	16,69	7,47	43,1	1,01	0,00	100	(Ca <sub>2,53</sub> Mn <sub>0,06</sub> ) <sub>2,59</sub> (Fe <sub>1,04</sub> Al <sub>0,65</sub> ) <sub>1,69</sub> Si <sub>3,2</sub> O <sub>12,00</sub>
12	649	34,26	20,34	6,95	37,53	0,92	0,00	100	(Ca <sub>2,86</sub> Mn <sub>0,06</sub> ) <sub>2,92</sub> (Fe <sub>1,32</sub> Al <sub>0,64</sub> ) <sub>1,96</sub> Si <sub>2,92</sub> O <sub>12,00</sub>
13	650	31,71	20,13	4,72	41,47	1,97	0,00	100	(Ca <sub>2,68</sub> Mn <sub>0,13</sub> ) <sub>2,81</sub> (Fe <sub>1,32</sub> Al <sub>0,44</sub> ) <sub>1,76</sub> Si <sub>3,27</sub> O <sub>12,00</sub>
14	651	33,07	22,58	4,52	38,76	1,07	0,00	100	(Ca <sub>2,86</sub> Mn <sub>0,07</sub> ) <sub>2,93</sub> (Fe <sub>1,52</sub> Al <sub>0,43</sub> ) <sub>1,95</sub> Si <sub>3,13</sub> O <sub>12,00</sub>
15	652	32,01	18,74	6,63	40,56	2,05	0,00	100	(Ca <sub>2,63</sub> Mn <sub>0,13</sub> ) <sub>2,76</sub> (Fe <sub>1,2</sub> Al <sub>0,6</sub> ) <sub>1,8</sub> Si <sub>3,11</sub> O <sub>12,00</sub>
16	653	32,52	16,17	10,94	37,85	2,52	0,00	100	(Ca <sub>2,54</sub> Mn <sub>0,15</sub> ) <sub>2,69</sub> (Fe <sub>0,98</sub> Al <sub>0,93</sub> ) <sub>1,91</sub> Si <sub>2,75</sub> O <sub>12,00</sub>
17	654	32,66	16,45	10,54	38,07	2,27	0,00	100	(Ca <sub>2,56</sub> Mn <sub>0,14</sub> ) <sub>2,7</sub> (Fe <sub>1,00</sub> Al <sub>0,91</sub> ) <sub>1,91</sub> Si <sub>2,78</sub> O <sub>12,00</sub>
18	655	31,66	20,41	5,87	39,95	2,11	0,00	100	(Ca <sub>2,65</sub> Mn <sub>0,14</sub> ) <sub>2,79</sub> (Fe <sub>1,33</sub> Al <sub>0,54</sub> ) <sub>1,87</sub> Si <sub>3,12</sub> O <sub>12,00</sub>
<b>402,1</b>									

1	406	29,46	16,56	9,04	41,71	3,22	0,00	100	(Ca <sub>2,32</sub> Mn <sub>0,2</sub> ) <sub>2,52</sub> (Fe <sub>1,02</sub> Al <sub>0,78</sub> ) <sub>1,8</sub> Si <sub>3,06</sub> O <sub>12,00</sub>
2	407	31,36	21,79	2,74	42,51	1,6	0,00	100	(Ca <sub>2,73</sub> Mn <sub>0,1</sub> ) <sub>2,83</sub> (Fe <sub>1,48</sub> Al <sub>0,26</sub> ) <sub>1,74</sub> Si <sub>3,45</sub> O <sub>12,00</sub>
3	408	31,31	19,03	5,75	42	1,91	0,00	100	(Ca <sub>2,59</sub> Mn <sub>0,12</sub> ) <sub>2,71</sub> (Fe <sub>1,23</sub> Al <sub>0,52</sub> ) <sub>1,75</sub> Si <sub>3,24</sub> O <sub>12,00</sub>
4	409	31,28	21,28	3,58	41,88	1,98	0,00	100	(Ca <sub>2,69</sub> Mn <sub>0,13</sub> ) <sub>2,81</sub> (Fe <sub>1,43</sub> Al <sub>0,34</sub> ) <sub>1,77</sub> Si <sub>3,36</sub> O <sub>12,00</sub>
5	410	31,22	19,23	4,82	42,82	1,91	0,00	100	(Ca <sub>2,61</sub> Mn <sub>0,13</sub> ) <sub>2,74</sub> (Fe <sub>1,25</sub> Al <sub>0,44</sub> ) <sub>1,66</sub> Si <sub>3,34</sub> O <sub>12,00</sub>
6	416	30,47	11,93	12	44,01	1,59	0,00	100	(Ca <sub>2,25</sub> Mn <sub>0,09</sub> ) <sub>2,34</sub> (Al <sub>0,97</sub> Fe <sub>0,69</sub> ) <sub>1,65</sub> Si <sub>3,03</sub> O <sub>12,00</sub>
7	417	31,02	19,7	4,37	43,1	1,8	0,00	100	(Ca <sub>2,61</sub> Mn <sub>0,12</sub> ) <sub>2,73</sub> (Fe <sub>1,29</sub> Al <sub>0,4</sub> ) <sub>1,69</sub> Si <sub>3,37</sub> O <sub>12,00</sub>
8	418	31,38	20,12	3,67	43,32	1,52	0,00	100	(Ca <sub>2,67</sub> Mn <sub>0,1</sub> ) <sub>2,77</sub> (Fe <sub>1,33</sub> Al <sub>0,34</sub> ) <sub>1,67</sub> Si <sub>3,43</sub> O <sub>12,00</sub>
9	419	30,03	14,68	8,98	44,13	2,19	0,00	100	(Ca <sub>2,32</sub> Mn <sub>0,13</sub> ) <sub>2,43</sub> (Fe <sub>0,88</sub> Al <sub>0,76</sub> ) <sub>1,64</sub> Si <sub>3,18</sub> O <sub>12,00</sub>
10	420	29,7	10,37	13,76	44,46	1,7	0,00	100	(Ca <sub>2,13</sub> Mn <sub>0,1</sub> ) <sub>2,23</sub> (Al <sub>1,08</sub> Fe <sub>0,56</sub> ) <sub>1,64</sub> Si <sub>2,97</sub> O <sub>12,00</sub>
11	421	30,83	12,94	11,42	42,68	2,13	0,00	100	(Ca <sub>2,31</sub> Mn <sub>0,13</sub> ) <sub>2,44</sub> (Al <sub>0,94</sub> Fe <sub>0,76</sub> ) <sub>1,7</sub> Si <sub>2,99</sub> O <sub>12,00</sub>
12	422	31,31	21,01	4,52	40,87	2,28	0,00	100	(Ca <sub>2,67</sub> Mn <sub>0,15</sub> ) <sub>2,82</sub> (Fe <sub>1,4</sub> Al <sub>0,42</sub> ) <sub>1,82</sub> Si <sub>3,25</sub> O <sub>12,00</sub>
13	423	30,14	13,29	11,8	41,33	2,99	0,00	99,55	(Ca <sub>2,28</sub> Mn <sub>0,18</sub> ) <sub>2,46</sub> (Al <sub>0,98</sub> Fe <sub>0,78</sub> ) <sub>1,76</sub> Si <sub>2,91</sub> O <sub>12,00</sub>
14	424	29,99	17,94	4,39	46,39	1,29	0,00	100	(Ca <sub>2,46</sub> Mn <sub>0,08</sub> ) <sub>2,54</sub> (Fe <sub>1,15</sub> Al <sub>0,4</sub> ) <sub>1,55</sub> Si <sub>3,56</sub> O <sub>12,00</sub>
15	425	30,37	16,78	3,18	48,5	1,16	0,00	100	(Ca <sub>2,51</sub> Mn <sub>0,08</sub> ) <sub>2,59</sub> (Fe <sub>1,08</sub> Al <sub>0,29</sub> ) <sub>1,37</sub> Si <sub>3,74</sub> O <sub>12,00</sub>
16	426	30,93	18,1	7,52	40,87	2,58	0,00	100	(Ca <sub>2,5</sub> Mn <sub>0,17</sub> ) <sub>2,67</sub> (Fe <sub>1,14</sub> Al <sub>0,67</sub> ) <sub>1,81</sub> Si <sub>3,08</sub> O <sub>12,00</sub>
17	427	30,61	19,68	5,67	41,53	2,5	0,00	100	(Ca <sub>2,55</sub> Mn <sub>0,15</sub> ) <sub>2,7</sub> (Fe <sub>1,28</sub> Al <sub>0,52</sub> ) <sub>1,8</sub> Si <sub>3,23</sub> O <sub>12,00</sub>
18	428	30,27	15,3	10,22	41,04	3,16	0,00	100	(Ca <sub>2,34</sub> Mn <sub>0,19</sub> ) <sub>2,53</sub> (Fe <sub>0,92</sub> Al <sub>0,87</sub> ) <sub>1,79</sub> Si <sub>2,96</sub> O <sub>12,00</sub>
<b>473</b>									
1	126	33,25	26,95	1,98	36,52	1,3	0,00	100	(Ca <sub>3,07</sub> Mn <sub>0,09</sub> ) <sub>3,16</sub> (Fe <sub>1,94</sub> Al <sub>0,2</sub> ) <sub>1,96</sub> Si <sub>3,15</sub> O <sub>12,00</sub>
2	127	32,96	23,68	4,7	36,85	1,8	0,00	100	(Ca <sub>2,88</sub> Mn <sub>0,12</sub> ) <sub>3,00</sub> (Fe <sub>1,62</sub> Al <sub>0,45</sub> ) <sub>2,07</sub> Si <sub>3,01</sub> O <sub>12,00</sub>
3	128	33,66	24,84	3,58	36,5	1,42	0,00	100	(Ca <sub>3,01</sub> Mn <sub>0,1</sub> ) <sub>3,22</sub> (Fe <sub>1,73</sub> Al <sub>0,35</sub> ) <sub>2,08</sub> Si <sub>3,05</sub> O <sub>12,00</sub>
4	129	33	25,08	3,42	36,88	1,62	0,00	100	(Ca <sub>2,97</sub> Mn <sub>0,12</sub> ) <sub>3,07</sub> (Fe <sub>1,76</sub> Al <sub>0,34</sub> ) <sub>2,1</sub> Si <sub>3,08</sub> O <sub>12,00</sub>
5	130	33,4	23,61	4,49	36,48	2,02	0,00	100	(Ca <sub>2,94</sub> Mn <sub>0,14</sub> ) <sub>3,08</sub> (Fe <sub>1,62</sub> Al <sub>0,43</sub> ) <sub>2,05</sub> Si <sub>3,00</sub> O <sub>12,00</sub>
6	131	33,47	23,8	4,33	36,83	1,57	0,00	100	(Ca <sub>2,95</sub> Mn <sub>0,11</sub> ) <sub>3,06</sub> (Fe <sub>1,64</sub> Al <sub>0,42</sub> ) <sub>2,04</sub> Si <sub>3,03</sub> O <sub>12,00</sub>
7	133	32,96	23,65	4,52	36,96	1,9	0,00	100	(Ca <sub>2,89</sub> Mn <sub>0,13</sub> ) <sub>3,02</sub> (Fe <sub>1,62</sub> Al <sub>0,44</sub> ) <sub>2,06</sub> Si <sub>3,03</sub> O <sub>12,00</sub>
8	134	33,54	24,06	3,8	37,14	1,46	0,00	100	(Ca <sub>2,97</sub> Mn <sub>0,1</sub> ) <sub>3,07</sub> (Fe <sub>1,67</sub> Al <sub>0,37</sub> ) <sub>2,04</sub> Si <sub>3,07</sub> O <sub>12,00</sub>
9	135	33,53	27,23	1,56	36,41	1,27	0,00	100	(Ca <sub>3,12</sub> Mn <sub>0,09</sub> ) <sub>3,21</sub> (Fe <sub>1,98</sub> Al <sub>0,16</sub> ) <sub>2,14</sub> Si <sub>3,16</sub> O <sub>12,00</sub>

10	136	33,67	23,18	4,78	36,56	1,81	0,00	100	$(Ca_{2,94}Mn_{0,13})_{3,07}(Fe_{1,58}Al_{0,46})_{2,04}Si_{2,98}O_{12,00}$
11	137	33,94	23,87	3,89	37	1,3	0,00	100	$(Ca_{3,00}Mn_{0,09})_{3,09}(Fe_{1,65}Al_{0,38})_{2,03}Si_{3,05}O_{12,00}$
12	138	33,09	27,81	1,4	36,62	1,09	0,00	100	$(Ca_{3,09}Mn_{0,08})_{3,16}(Fe_{2,02}Al_{0,14})_{2,16}Si_{3,19}O_{12,00}$
<b>489,7</b>									
1	794	32,34	20,8	6,83	37,22	2,82	0,00	100	$(Ca_{2,72}Mn_{0,19})_{2,91}(Fe_{1,36}Al_{0,63})_{1,99}Si_{2,92}O_{12,00}$
2	795	33,14	19,64	8,03	37,24	1,95	0,00	100	$(Ca_{2,72}Mn_{0,13})_{2,85}(Fe_{1,26}Al_{0,72})_{1,98}Si_{2,85}O_{12,00}$
3	796	33,48	14,09	12,62	37,09	2,72	0,00	100	$(Ca_{2,55}Mn_{0,16})_{2,71}(Al_{1,08}Fe_{0,84})_{1,92}Si_{2,64}O_{12,00}$
4	797	33,5	24,25	3,92	36,91	1,41	0,00	100	$(Ca_{2,97}Mn_{0,1})_{3,07}(Fe_{1,68}Al_{0,38})_{2,06}Si_{3,05}O_{12,00}$
5	799	32,93	25,96	2,85	36,67	1,59	0,00	100	$(Ca_{2,97}Mn_{0,11})_{3,08}(Fe_{1,84}Al_{0,28})_{2,12}Si_{3,1}O_{12,00}$
6	800	32,59	22,38	5,94	37,14	1,95	0,00	100	$(Ca_{2,78}Mn_{0,13})_{2,91}(Fe_{1,49}Al_{0,56})_{2,05}Si_{2,96}O_{12,00}$
7	801	32,62	23,67	4,63	36,7	2,38	0,00	100	$(Ca_{2,86}Mn_{0,17})_{3,03}(Fe_{1,62}Al_{0,45})_{2,07}Si_{3,00}O_{12,00}$
8	802	33	26,92	2	36,72	1,36	0,00	100	$(Ca_{3,04}Mn_{0,1})_{3,14}(Fe_{1,94}Al_{0,2})_{2,14}Si_{3,16}O_{12,00}$
9	803	32,94	20,4	7,69	36,89	2,08	0,00	100	$(Ca_{2,73}Mn_{0,14})_{2,87}(Fe_{1,32}Al_{0,7})_{2,02}Si_{2,85}O_{12,00}$
10	804	33,04	26,73	2,39	36,45	1,39	0,00	100	$(Ca_{3,03}Mn_{0,1})_{3,13}(Fe_{1,91}Al_{0,24})_{2,15}Si_{3,12}O_{12,00}$
11	805	32,8	19,42	8,21	37,31	2,26	0,00	100	$(Ca_{2,69}Mn_{0,15})_{2,84}(Fe_{1,24}Al_{0,74})_{1,98}Si_{2,85}O_{12,00}$
12	806	32,84	25,95	3,16	36,55	1,49	0,00	100	$(Ca_{2,96}Mn_{0,11})_{3,07}(Fe_{1,83}Al_{0,31})_{2,14}Si_{3,08}O_{12,00}$
13	807	32,76	24,68	4,12	36,55	1,9	0,00	100	$(Ca_{2,9}Mn_{0,13})_{3,03}(Fe_{1,71}Al_{0,4})_{2,11}Si_{3,02}O_{12,00}$
14	808	32,22	27,44	1,84	36,84	1,66	0,00	100	$(Ca_{2,98}Mn_{0,12})_{3,1}(Fe_{1,98}Al_{0,19})_{2,17}Si_{3,18}O_{12,00}$
15	809	32,52	30,19	0,00	35,95	1,35	0,00	100	$(Ca_{3,14}Mn_{0,1})_{3,24}Fe_{2,28}Si_{3,24}O_{12,00}$

**Приложение 6.**

**Формульные коэффициенты гранатов из зоны скарнирования (380-500 метров), выраженные в весовых процентах.**

<b>Компонент</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
SiO <sub>2</sub>	45,3	41,33	47,48	43,39	41,06	39,3	42,6	38,57
CaO	30,14	31,69	29,55	31,07	33,17	32,74	31,71	32,47
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,35	4,9	7,18	6,18	4,4	4,12	7,95	10,83
FeO	16,55	20,79	14,18	18,15	21,36	22,4	16,58	15,58
MnO	1,66	1,29	1,61	1,21	0,00	1,44	1,16	2,55
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Компонент</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>
SiO <sub>2</sub>	43,16	43,87	41,61	38,08	37,94	39,6	39,7	41,37
CaO	32,43	31,53	33,07	33,16	32,19	33,81	32,98	32,73
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,5	8,86	4,24	4,99	10,31	2,26	4,63	5,36
FeO	19,92	14,69	20,24	22,36	16,85	24,33	21,85	19,64
MnO	0,00	1,06	0,84	1,41	2,72	0,00	0,83	0,9
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Компонент</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>
SiO <sub>2</sub>	41,79	38,04	41,69	47,69	37,54	39,81	37,27	38,34
CaO	32,84	32,39	31,23	30,88	32,81	32,43	33,19	32,81
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,17	8,45	6,68	5,92	10,28	4,46	9,22	4,91
FeO	19,2	18,86	18,57	15,5	16,4	21,42	18,2	21,81
MnO	0,00	2,25	1,83	0,00	2,3	1,88	2,1	2,13
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,68	0,00	0,00	0,00
<b>Компонент</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>30</b>	<b>31</b>	<b>32</b>
SiO <sub>2</sub>	39,41	37,51	47,47	38,22	37,99	44,85	39,02	37,85



CaO	32,26	32,51	31,02	33,04	32,11	30,71	32,07	32,94
Al2O3	6,09	10,19	6,39	9,05	11	3,13	8,74	10,63
FeO	19,99	16,74	15,13	18,26	16,33	20,02	17,55	16,27
MnO	2,24	2,35	0,00	1,42	2,57	1,3	2,62	2,32
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO2	0,00	0,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Компонент</b>	<b>33</b>	<b>34</b>	<b>35</b>	<b>36</b>	<b>37</b>	<b>38</b>	<b>39</b>	<b>40</b>
SiO2	44,17	37,35	39,68	37,76	37,61	45,85	37,24	48,32
CaO	31,38	34,46	32,61	32,53	33,01	30,99	32,73	30,72
Al2O3	3,62	5,37	0,94	9,95	6,85	2,26	10,26	4,34
FeO	19,34	22,09	25,33	17,59	20,56	19,63	16,83	15,48
MnO	1,49	0,74	1,43	2,17	1,97	1,28	2,27	1,14
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,67	0,00
<b>Компонент</b>	<b>41</b>	<b>42</b>	<b>43</b>	<b>44</b>	<b>45</b>	<b>46</b>	<b>47</b>	<b>48</b>
SiO2	38,14	37,86	49,37	38,26	38,44	38,25	40,5	42,78
CaO	31,89	32,25	30,61	32,14	32,73	30,91	32,8	30,73
Al2O3	6,55	10,89	6,22	10,81	10,7	6,19	11,2	11,92
FeO	20,93	16,72	13,8	16,39	16,05	21,22	14,04	13,08
MnO	2,48	2,28		2,4	2,08	3,43	1,47	1,49
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Компонент</b>	<b>49</b>	<b>50</b>	<b>51</b>	<b>52</b>	<b>53</b>	<b>54</b>	<b>55</b>	<b>56</b>
SiO2	37,81	37,63	46,59	43,65	38,27	37,73	37,5	42,19
CaO	33,21	33,38	26,8	31,03	31,69	32,58	32,89	30,45
Al2O3	8,6	4,13	20,97	13,4	10,25	8,72	8,95	13,44
FeO	18,54	23,61	2,2	10,45	17,05	18,84	18,31	11,77
MnO	1,83	1,25	0,00	1,48	2,74	2,14	2,36	2,16
MgO	0,00	0,00	3,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Компонент</b>	<b>57</b>	<b>58</b>	<b>59</b>	<b>60</b>	<b>61</b>	<b>62</b>	<b>63</b>	<b>64</b>

SiO2	38,68	38,53	37,74	38,62	45,26	45,71	37,93	44,3
CaO	31,66	32,08	31,81	31,94	29,76	29,78	32,22	30,64
Al2O3	8,53	11,51	9,06	9,22	13,79	11,1	10,02	13,39
FeO	18,6	15,21	18,41	17,67	9,71	11,74	17,48	10,24
MnO	2,53	2,67	2,98	2,55	1,48	1,67	2,34	1,43
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Компонент</b>	<b>65</b>	<b>66</b>	<b>67</b>	<b>68</b>	<b>69</b>	<b>70</b>	<b>71</b>	<b>72</b>
SiO2	37,09	38,22	37,54	37,53	37,63	38,2	37,11	37,32
CaO	34,15	35,91	33,32	32,54	32,95	36,43	33,14	34,25
Al2O3	1,75	13,95	1,4	3,71	6,89	15,67	5,8	8,47
FeO	27	7,2	26,77	24,28	20,71	4,5	22,12	17,5
MnO	0,00	1,7	0,97	1,94	1,82	1,57	1,83	2,47
MgO	0,00	3,03	0,00	0,00	0,00	3,64	0,00	0,00
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Компонент</b>	<b>73</b>	<b>74</b>	<b>75</b>	<b>76</b>	<b>77</b>	<b>78</b>	<b>79</b>	<b>80</b>
SiO2	37	37,3	37,77	37,2	38,3	39,41	39,04	40,09
CaO	32,72	32,86	33,02	33,19	35,86	32,33	32,13	31,98
Al2O3	4,41	6,48	8,19	5,07	15,11	6,4	4,55	4,6
FeO	23,93	21,52	18,58	22,71	5,88	20,21	22,47	21,71
MnO	1,94	1,84	2,44	1,83	1,75	1,65	1,82	1,62
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	3,09	0,00	0,00	0,00
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Компонент</b>	<b>81</b>	<b>82</b>	<b>83</b>	<b>84</b>	<b>85</b>	<b>86</b>	<b>87</b>	<b>88</b>
SiO2	39,24	39,06	39,19	38,32	38,77	38,96	38,74	37,95
CaO	32,09	31,95	32,62	32,79	32,77	32,24	32,1	32,85
Al2O3	5,79	4,49	7,27	6,06	8,87	2,48	6,56	8,78
FeO	20,67	22,78	19,23	21,08	17,27	24,72	20,73	17,74
MnO	2,2	1,73	1,69	1,75	2,32	1,6	1,87	2,68
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

<b>Компонент</b>	<b>89</b>	<b>90</b>	<b>91</b>	<b>92</b>	<b>93</b>	<b>94</b>	<b>95</b>	<b>96</b>
SiO2	37,33	37,9	37,4	37,46	37,58	37,76	37,54	52,54
CaO	32,72	33,41	33,25	33,61	33,1	33,17	32,07	29,86
Al2O3	4,91	6,68	6,03	6,45	5,32	5,66	3,76	3,6
FeO	23,36	20,22	21,2	20,72	22,39	21,34	24,61	12,83
MnO	1,69	1,79	2,13	1,76	1,62	2,08	2,02	1,16
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Компонент</b>	<b>97</b>	<b>98</b>	<b>99</b>	<b>100</b>	<b>101</b>	<b>102</b>	<b>103</b>	<b>104</b>
SiO2	53,68	45,53	44,39	44,62	43,07	43,85	43,77	44,47
CaO	28,26	30,21	31,06	31,52	33,01	31,54	31,23	31,81
Al2O3	8,92	5,98	5,06	4,62	5,08	3,19	5,62	2,49
FeO	9,14	16,86	18,45	18,1	17,66	20,2	18,1	19,96
MnO	0,00	1,42	1,05	1,15	1,17	1,21	1,28	1,27
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Компонент</b>	<b>105</b>	<b>106</b>	<b>107</b>	<b>108</b>	<b>109</b>	<b>110</b>	<b>111</b>	<b>112</b>
SiO2	55,25	58,52	55,73	56,92	49,09	50,34	42,33	44,68
CaO	28,2	28,85	27,07	29,54	28,95	30,27	31,16	30,7
Al2O3	7,43	3,32	10,97	3,4	7,79	4,62	5,29	7,51
FeO	9,11	9,31	6,23	10,14	12,83	13,72	19,44	15,47
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	1,34	1,06	1,78	1,64
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Компонент</b>	<b>113</b>	<b>114</b>	<b>115</b>	<b>116</b>	<b>117</b>	<b>118</b>	<b>119</b>	<b>120</b>
SiO2	41,87	43,47	45,5	41,11	41,35	41,46	42,66	42,54
CaO	31,62	30,7	30,93	31,39	31,18	30,12	30,25	29,62
Al2O3	3,25	5,22	6,01	10,03	8,86	10,23	7,55	10,75
FeO	21,68	19,01	16,62	15,26	16,21	15,43	16,89	14,84
MnO	1,58	1,59	0,95	2,22	2,4	2,77	2,66	2,25
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Компонент</b>	<b>121</b>	<b>122</b>	<b>123</b>	<b>124</b>	<b>125</b>	<b>126</b>	<b>127</b>	<b>128</b>
SiO2	42,22	42,14	41,71	53,86	54,01	48,84	48,37	52,25
CaO	30,32	29,47	30,63	29,22	27,18	30,28	29,59	29,73
Al2O3	9,92	9,48	10,24	5,39	8,92	1,61	8,1	1,18
FeO	15,03	16,44	14,81	11,53	8,76	18,24	12,7	15,66
MnO	2,51	2,48	2,61	0,00	1,13	1,03	1,25	1,18
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Компонент</b>	<b>129</b>	<b>130</b>	<b>131</b>	<b>132</b>	<b>133</b>	<b>134</b>	<b>135</b>	<b>136</b>
SiO2	52,01	52,01	52,01	52,01	52,01	52,01	52,01	52,01
CaO	28,37	28,3	29,89	29,46	29,51	29,19	27,52	29,49
Al2O3	8,46	10,17	6,05	3,36	7,09	7,47	6,87	3,39
FeO	10,31	8,78	15,32	16,72	13,49	11,32	13,05	13,17
MnO	1,14	0,00	0,79	1,55	1,56	0,00	1,72	0,0
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Компонент</b>	<b>137</b>	<b>138</b>	<b>139</b>	<b>140</b>	<b>141</b>	<b>142</b>	<b>143</b>	<b>144</b>
SiO2	46,9	47,71	39,93	41,79	46,95	41,93	40,58	41,1
CaO	29,66	30,47	32,68	32,11	26,71	31,63	31,15	30,89
Al2O3	7,87	1,14	6,67	7,72	7,68	7,11	6,6	6,43
FeO	14,09	19,15	19,01	16,41	15,63	17,46	19,13	19,29
MnO	1,48	1,52	1,71	1,97	2,16	1,88	2,54	2,29
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Компонент</b>	<b>145</b>	<b>146</b>	<b>147</b>	<b>148</b>	<b>149</b>	<b>150</b>	<b>151</b>	<b>152</b>
SiO2	40,01	37,75	36,9	37,05	37,16	37,11	37,22	37,46
CaO	31,48	33,87	33,54	32,8	33,45	32,36	33,74	32,43
Al2O3	6,6	6,61	4,03	1,64	4,01	0,86	6	2,18
FeO	19,49	20,3	24,21	27,3	23,9	27,94	21,45	26,63
MnO	2,41	1,47	1,31	1,21	1,47	1,74	1,58	1,3

MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Компонент</b>	<b>153</b>	<b>154</b>	<b>155</b>	<b>156</b>	<b>157</b>	<b>158</b>	<b>159</b>	<b>160</b>
SiO2	37,18	37,85	37,61	37,6	37,3	37,78	37,63	36,85
CaO	33,48	32,73	34,07	32,79	33,04	32,74	32,99	32,86
Al2O3	1,83	5,11	3,45	4,81	0,69	4,91	3,9	2,4
FeO	26,25	22,52	24,87	22,85	27,7	22,84	23,77	26,45
MnO	1,27	1,8	0,00	1,94	1,27	1,73	1,71	1,44
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Компонент</b>	<b>161</b>	<b>162</b>	<b>163</b>	<b>164</b>	<b>165</b>	<b>166</b>	<b>167</b>	<b>168</b>
SiO2	37,29	37,38	36,95	37,78	36,88	37,71	38	38,16
CaO	33,49	33,21	32,78	33,21	33,23	34,02	34,51	33,77
Al2O3	3,65	4,94	1,51	4,54	0,47	11,74	11,56	11
FeO	24,07	22,6	27,48	23,44	27,89	14,56	14,57	15,39
MnO	1,49	1,87	1,29	1,03	1,53	1,97	1,37	1,67
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Компонент</b>	<b>169</b>	<b>170</b>	<b>171</b>	<b>172</b>	<b>173</b>	<b>174</b>	<b>175</b>	<b>176</b>
SiO2	37,82	38,19	38,27	38,2	37,74	38,26	37,63	37,37
CaO	34,43	34,14	34,04	34,11	36,05	36,2	35,58	36,57
Al2O3	12,21	9,13	10,49	13,04	18,14	15,97	18,66	18,4
FeO	13,55	16,78	15,26	12,41	2,74	6,41	4,3	2,05
MnO	1,98	1,76	1,94	2,24	0,88	0,58	1,74	1,11
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	2,41	2,17	0,81	2,49
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,41	0,00	0,00
<b>Компонент</b>	<b>177</b>	<b>178</b>	<b>179</b>	<b>180</b>	<b>181</b>	<b>182</b>	<b>183</b>	<b>184</b>
SiO2	37,78	37,84	43,19	42,65	43,12	46,77	44,14	43,28
CaO	33,88	35,7	30,71	31,52	30,26	26,02	30,66	29,57
Al2O3	15,17	17,96	11,69	12,35	12,4	20,82	12,57	11,29
FeO	5,07	2,89	12,71	12,33	11,93	2,32	11,41	13,71

MnO	4,32	1,52	1,69	1,16	2,29	0,71	1,23	2,15
MgO	2,01	1,85	0,00	0,00	0,00	3,36	0,00	0,00
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Компонент</b>	<b>185</b>	<b>186</b>	<b>187</b>	<b>188</b>	<b>189</b>	<b>190</b>	<b>191</b>	<b>192</b>
SiO2	45,9	43,98	41,24	42,62	43,32	34,43	39,61	40,32
CaO	29,41	31,04	31,68	29,97	31,15	0,82	32,87	31,8
Al2O3	12,48	10,4	10,88	12,48	8,85	14,94	0,00	0,00
FeO	9,98	13,17	14,37	12,35	15,36	36,6	27,51	26,05
MnO	2,23	1,41	1,83	2,57	1,32	7,74	0,00	1,82
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,47	0,00	0,00
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Компонент</b>	<b>193</b>	<b>194</b>	<b>195</b>	<b>196</b>	<b>197</b>	<b>198</b>	<b>199</b>	<b>200</b>
SiO2	37,93	36,44	37,19	41,56	42,38	37,29	44,48	47,51
CaO	33,38	33,28	33,27	33,53	32,06	29,46	31,29	29,83
Al2O3	0,00	0,00	0,83	1,38	0,00	10,1	4,66	0,00
FeO	27,84	29,36	27,36	23,52	24,43	17,97	17,85	20,78
MnO	0,85	0,91	1,36	0,00	1,12	4,62	1,72	1,88
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,56	0,00	0,00
<b>Компонент</b>	<b>201</b>	<b>202</b>	<b>203</b>	<b>204</b>	<b>205</b>	<b>206</b>	<b>207</b>	<b>208</b>
SiO2	45,29	36,47	36,65	37,83	36,82	36,81	37,62	36,76
CaO	29,29	33,52	33,31	33,31	33,02	34,16	33,29	33,38
Al2O3	7,24	3,61	1,86	8,44	0,67	5,25	6,55	0,9
FeO	15,58	24,93	26,9	18,32	28,39	22,04	20,9	28,02
MnO	2,59	1,47	1,28	2,1	1,1	1,75	1,64	0,94
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Компонент</b>	<b>209</b>	<b>210</b>	<b>211</b>	<b>212</b>	<b>213</b>	<b>214</b>	<b>215</b>	<b>216</b>
SiO2	36,81	36,32	37,96	29,31	36,78	37,12	29,75	36,64
CaO	32,93	33,31	33,12	0,00	33,6	32,75	0,00	33,01
Al2O3	1,81	0,74	4,01	19,81	1,39	0,00	18,45	5,37

FeO	27,08	28,2	22,4	36,89	26,79	28,44	36,95	22,68
MnO	1,37	1,43	2,51	3,96	1,45	1,68	3,45	2,29
MgO	0,00	0,00	0,00	10,03	0,00	0,00	11,4	0,00
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Компонент</b>	<b>217</b>	<b>218</b>	<b>219</b>	<b>220</b>	<b>221</b>	<b>222</b>	<b>223</b>	<b>224</b>
SiO2	36,67	36,31	30,14	29,89	35,81	29,63	36,31	36,42
CaO	33,01	32,76	0,00	0,00	33,28	0,00	32,49	32,88
Al2O3	2,71	6,35	18,96	19,27	0,59	19,51	0,53	0,00
FeO	25,8	22,04	36,31	35,57	28,51	35,84	28,92	29,23
MnO	1,81	2,54	4,34	3,64	1,81	3,45	1,74	1,47
MgO	0,00	0,00	10,24	11,64	0,00	11,56	0,00	0,00
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Компонент</b>	<b>225</b>	<b>226</b>	<b>227</b>	<b>228</b>	<b>229</b>	<b>230</b>	<b>231</b>	<b>232</b>
SiO2	37,01	36,84	37,32	36,6	36,73	36,67	37,39	36,66
CaO	32,73	33,06	32,89	32,83	32,96	33,03	32,18	32,35
Al2O3	0,00	4,09	5,51	2,17	6,01	1,8	9,31	2,84
FeO	28,52	24,8	22,73	27,04	22,44	27,36	18,37	26,6
MnO	1,75	1,22	1,55	1,37	1,87	1,15	2,74	1,56
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Компонент</b>	<b>233</b>	<b>234</b>	<b>235</b>	<b>236</b>	<b>237</b>	<b>238</b>	<b>239</b>	<b>240</b>
SiO2	36,4	36,67	36,75	37,14	36,83	37,07	36,69	37,37
CaO	32,91	33,05	32,78	33,14	33,22	32,89	33,28	32,78
Al2O3	3,49	2,12	1,59	2,81	4,88	2,01	2,79	7,96
FeO	25,76	26,4	27,66	25,72	23,01	26,7	26	19,67
MnO	1,44	1,77	1,22	1,19	2,06	1,32	1,24	2,22
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Компонент</b>	<b>241</b>	<b>242</b>	<b>243</b>	<b>244</b>	<b>245</b>	<b>246</b>	<b>247</b>	<b>248</b>
SiO2	38,21	37,15	37,31	37,88	37,26	38,02	37,56	36,89
CaO	32,84	32,89	32,14	33,68	32,82	32,71	31,9	32,89

Al2O3	3,98	6,48	6,98	10,43	6,33	18,03	10,46	4,03
FeO	23,25	21,02	20,58	16,2	21,24	7,17	16,01	23,95
MnO	1,72	2,46	2,99	1,82	2,36	4,07	4,07	2,25
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Компонент</b>	<b>249</b>	<b>250</b>	<b>251</b>	<b>252</b>	<b>253</b>	<b>254</b>	<b>255</b>	<b>256</b>
SiO2	37,59	12,11	37,91	37	36,63	37,39	37,2	36,63
CaO	32,3	1,58	33,36	32,14	33,25	31,14	31,29	33,18
Al2O3	16,67	10,97	15,59	5,56	5,63	10,56	11,03	3,3
FeO	8,96	73,07	9,91	22,42	22,39	16,6	16,18	25,02
MnO	4,48	2,27	3,23	2,88	2,11	4,3	4,3	1,87
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Компонент</b>	<b>257</b>	<b>258</b>	<b>259</b>	<b>260</b>	<b>261</b>	<b>262</b>	<b>263</b>	<b>264</b>
SiO2	37,59	12,11	37,91	37	36,63	37,39	37,2	36,63
CaO	31,95	32,39	32,71	32,64	31,92	32,77	32,86	33,14
Al2O3	10,42	4,06	17,23	3,91	11,73	9,32	10,47	8,06
FeO	16,36	24,36	7,58	23,98	14,48	18,35	16,04	19,6
MnO	3,94	1,81	3,98	2,31	4,17	2,18	2,59	1,97
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Компонент</b>	<b>265</b>	<b>266</b>	<b>267</b>	<b>268</b>	<b>269</b>	<b>270</b>	<b>271</b>	<b>272</b>
SiO2	36,7	37,07	36,9	37,56	39,09	37,73	36,59	36,9
CaO	32,22	33,22	31,68	32,55	22,84	32,81	33,05	34,25
Al2O3	4,7	8,7	7,22	17,5	23,38	8,98	0,62	5,7
FeO	24,05	18,77	21,47	7,09	13,68	18,47	28,6	22,17
MnO	2,32	2,23	2,74	4,47	1,01	2,02	1,14	0,98
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Компонент</b>	<b>273</b>	<b>274</b>	<b>275</b>	<b>276</b>	<b>277</b>	<b>278</b>	<b>279</b>	<b>280</b>
SiO2	36,95	38,39	36,44	36,62	36,24	38,6	35,82	37,67



CaO	33,46	32,72	33,59	34,4	33,4	22,14	33,94	33,18
Al2O3	1,22	13,68	0,66	3,48	0,00	23,38	0,00	9,04
FeO	27,37	12,1	28,4	24,69	29,46	14,16	29,5	17,9
MnO	0,99	3,11	0,91	0,82	0,89	1,71	0,74	2,21
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Компонент</b>	<b>281</b>	<b>282</b>	<b>283</b>	<b>284</b>	<b>285</b>	<b>286</b>	<b>287</b>	<b>288</b>
SiO2	36,53	37,16	39,04	37,16	39,33	39,12	38,71	37,61
CaO	33,38	32,6	23,16	33,82	23,34	23,16	32,41	33,09
Al2O3	0,00	9,38	23,58	1,38	23,18	22,69	17,7	9,22
FeO	29,37	18,86	13,4	26,99	13,64	14,33	7,19	17,95
MnO	0,72	2,01	0,83	0,65	0,52	0,71	3,98	2,13
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Компонент</b>	<b>289</b>	<b>290</b>	<b>291</b>	<b>292</b>	<b>293</b>	<b>294</b>	<b>295</b>	<b>296</b>
SiO2	36,22	40,44	37,4	36,06	37,45	37,35	38,28	37,27
CaO	33,15	30,11	32,8	28,86	32,88	33,6	33,44	34,07
Al2O3	0,00	10,14	8,39	0,00	8,11	12,09	17,53	10,37
FeO	29,52	16,8	19,5	30,15	19,33	14	7,28	16,68
MnO	1,11	1,83	1,92	4,93	2,22	2,97	3,47	1,62
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Компонент</b>	<b>297</b>	<b>298</b>	<b>299</b>	<b>300</b>	<b>301</b>	<b>302</b>	<b>303</b>	<b>304</b>
SiO2	38,63	38,7	37,24	35,48	36,26	36,87	26,08	26,45
CaO	22,05	23,18	33,82	31,99	31,32	32,07	0,33	0,00
Al2O3	24,31	24,28	10,32	0,00	2,03	0,00	22,57	22,47
FeO	13,14	12,65	16,48	30,29	27,56	28,75	44,77	47,7
MnO	1,87	1,2	2,13	2,24	2,84	2,31	3,03	1,61
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,23	1,76
TiO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

## Литература

1. Баданина И.Ю. Вещественный состав и технологические свойства руд скарново-грейзенового месторождения Северный Катпар: дис. канд. геол наук: Санкт-Петербург, 1998. – 162 с.;
2. Даутбеков Д.О. Закономерности проявления эпитермального золото-серебряного оруденения в Жонгаро-Балхашском регионе и его перспективы - диссертация, Алматы, 2018;
3. Дегтярев К.Е. Тектоническая эволюция раннепалеозойской активной окраины в Казахстане. - М.: Наука, 1999.- 123 с.;
4. Ляпичев Г.Ф., Сейтмуратова Э.Ю., Борукаева М.Р. и др. Позднепалеозойские вулканогенные формации Джунгаро-Балхашской складчатой системы // Магматизм и рудоносность Казахстана. - Алма-Ата, 1991. - С. 77-85;
5. Денисенко В.К., Павлова И.Г., Рундквист Д.В. Грейзеновые месторождения. – Москва: Недра, 1970. – 328с.;
6. Генетические модели эндогенных рудных формаций. - Новосибирск: Наука, 1983, Том 1. – 189 с.;
7. Генетические модели эндогенных рудных формаций / Г.Н. Щерба, Т.М. Лаумулин и др. // Геолого-генетические модели главных типов эндогенных редкометалльных месторождений Казахстана. - Новосибирск: Наука, 1983, Том 2. – 177с.;
8. Типоморфизм минералов; Справочник / Гинзбург А. И., Чернышева Л. В., Куприянова И И. Под ред. Л. В. Чернышевой – Москва: Недра, 1989. – 560 с.;
9. Типоморфизм минералов и минеральных ассоциаций; Справочник / Под ред. Н.В. Петровская – Москва: Наука, 1986 – 168 с.;
10. Петрографический кодекс. – Санкт-Петербург: ВСЕГЕИ, 2008. – 203 с.;
11. Синяков В. И. Геолого-промышленные типы рудных месторождений. - СПб: Недра, 1994.- 248 с.: ил;
12. Старостин В.И., Игнатов П.А. Геология полезных ископаемых: учебник. – Москва: МГУ, 1997. – 304 с;
13. Синяков В. И. Основы теории рудогенеза. - Ленинград: Недра. 1987.- 192 с.;

## Фондовая литература

1. Букуров Г.С., Сабиев С.К. О детальной разведке месторождения Северный Катпар с подсчетом запасов: отчет том 1, 1994;