

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Олюшина Анна Александровна

Выпускная квалификационная работа
«Типоморфные особенности слюд вольфрамового месторождения Верхние Кайракты
(Центральный Казахстан)»

Основная образовательная программа магистратуры
по направлению 05.03.01 «Геология»

Научный руководитель:
Доцент кафедры ГМПИ
к.г.-м.н., С.В. Петров

Научный соруководитель:
аспирант кафедры ГМПИ,
Родионова А. В.

Рецензент:
ЗАО «НПО «РИВС»
Нагаева С.П

Санкт-Петербург

2022

Оглавление

Введение.....	3
1. Состояние проблемы.....	6
1.1. Вольфрамовая промышленность	6
1.2. Типоморфизм минералов.....	8
2. Геологическая характеристика района исследований	11
2.1. Региональная позиция месторождения	11
2.1.1. Джунгаро-Балхашская складчатая система	12
2.1.2. Успенская зона.....	14
2.1.3. Жаман – Сарысуйская зона.....	15
2.2. Месторождение Верхние Кайракты	16
2.2.1. История открытия месторождения	16
2.2.2. Географическое положение месторождения.....	17
2.2.3. Геологическое строение месторождения	18
2.3. Стратиграфия	19
2.4. Магматизм.....	21
2.5. Метаморфизм.....	23
2.6. Тектоника	24
3. Минералого-петрографическая характеристика пород	26
4. Петрохимическая характеристика пород	37
5. Типоморфизм слюд	43
5.1. Методы идентификации слоистых силикатов	51
Выводы	53
Список литературы.....	54
Приложение 1.	56
Приложение 2	60

Введение

Вольфрамовое месторождение Верхние Кайракты находится в Шетском районе Карагандинской области (Центральный Казахстан).

В настоящее время, вольфрамовое сырье востребовано в самых разных отраслях, от горнодобывающей до строительной, а потребность в этом сырье возрастает из года в год.

По запасам вольфрама изучаемое месторождение относится к супергиганту штокверкового типа. (Гусев, 2008)

Жильно-штокверковые месторождения признаны крупнейшими по запасам вольфрама – от нескольких сотен тысяч тонн до 1 млн. т WO_3 . Но, на подобных месторождениях встречаются довольно бедные руды: 0.12 – 0.18 % WO_3 .

Интерес к подобным объектам, со стороны горнодобывающих компаний обусловлен возможностью создания на их базе крупных высокопроизводительных предприятий, ведущих добычу открытым способом, а возникновение данного интереса спровоцировано новейшими технологическими возможностями в сфере переработки бедных и убогих руд, делающими эту переработку экономически эффективной.

Объективная оценка типоморфных свойств состава и структуры слюд даёт возможность использовать эти особенности как индикаторы определенных условий минералообразования и оценивать количественное распределение рудных компонентов.

Основной целью данной работы является определение закономерностей распределения типоморфных минералов, как одного из поисковых критериев;

На основе фактического материала решался ряд задач:

1. Анализ состояния проблемы и методов исследования типоморфизма и вольфрамовой промышленности;
2. Изучение геологической характеристики района исследований;

3. Изучение минерального состава пород, руд и установление стадий минералообразования;
4. Изучение типоморфных характеристик светлых слюд;
5. Определение закономерностей распределения рудных компонентов на основе изучения типоморфизма светлых слюд.

Фактический материал:

В качестве фактического материала были шлифы (в количестве 44 штуки), аншлифы (в количестве 45 штук), прозрачно-полированные шлифы (в количестве 40 штук). Все препараты были изготовлены из образцов, отобранных с различным интервалом, от 1 до 7 метров, из керна геологоразведочной скважины 2А в интервале от 0 до 600 м.

Весь фактический материал был предоставлен ТОО «Северный Катпар».

Методика проведения работ:

1) Оптическое описание препаратов на поляризационном микроскопе Leica DM 4500 P LED на базе ресурсного центра Научного парка СПбГУ «Рентгенодифракционные методы исследования»;

2) Спектральный анализ (683 спектра) с помощью сканирующего электронного микроскопа «HitachiS-3400N» с энергодисперсионным спектрометром «Oxford Instruments X-Max» на базе ресурсного центра Научного парка СПбГУ «Геомодель», с целью изучения особенностей состава и морфологии минералов рудной ассоциации;

3) Элементный анализ образцов с применением портативного XRF Olympus Vanta – 140 анализов (СПБГУ);

4) Анализ минерального состава метасоматитов с применением портативного инфракрасного анализатора ASD TerraSpec – 140 спектров (СПБГУ);

5) Идентификация слоистых минералов и их количественный анализ методом XRD – 11 проб (СПБГУ);

б) 6 образцов керна были отсняты в длинноволновом и коротковолновом ультрафиолетовом излучении, для иллюстрации распределения шеелита (СПБГУ);

Благодарности:

Автор выражает благодарность своему научному руководителю С.В. Петрову и научному соруководителю А.В. Родионовой, за помощь и важные указания в течение всего периода написания данной работы, а так же Е.В. Волкову за ценные консультации, и аналитиков ресурсных центров научных парков СПБГУ «Геомодель» и «Рентгенодифракционные методы исследования» за помощь в проведении работы.

1. Состояние проблемы

1.1. Вольфрамовая промышленность

Мировые запасы вольфрамового ангидрида оцениваются почти в 5 млн. тонн WO_3 . Они подсчитаны в 30 странах мира. Производство в 2020 году составило 84 тыс. тонн (табл. 1).

Добыча вольфрамового сырья сильно монополизирована, крупнейшим производителем является Китайская Народная Республика, которая обеспечивает более 82% добычи этого металла. Несмотря на это, Китай импортирует концентраты из Северной Кореи, Вьетнама, Мьянмы и других стран. Практически все концентраты перерабатываются внутри страны с получением различных химических соединений, ферросплавов и чистого металла.

Китай экспортирует как уже готовую вольфрамовую продукцию, так и «полуфабрикаты», обеспечивая более четверти мировой торговли сырьем. Основными типами вольфрамовых руд в Китае являются крупные и гигантские месторождения скарнового, жильного и штокверкового (вольфрам-порфинового) типов с низкими содержаниями вольфрамового ангидрида 0.3 – 0.5 %.

Крупнейшими производителями вольфрама в мире являются Россия (10 % запасов сырья и 2.6 % добычи) и Вьетнам (2 % и 5 %, соответственно).

Крупными запасами так же обладает Казахстан – более 35 %, которые сосредоточены в крупнейших штокверковых и скарновых месторождениях. Добычи вольфрамовых руд в Казахстане пока не осуществляется, хотя в стране уже существует план развития редкометальной и редкоземельной промышленности.

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. 1).

Среди основных отраслей, использующих вольфрамовую продукцию выделяются: автомобилестроение, горнодобывающая, инструментальная, аэрокосмическая, строительство, химическая, энергетическая отрасли (рис. 2).

Запасы и добыча вольфрама в мире

Страны	Запасы, тыс. т	Добыча, тыс. т	
		2019 г.	2020 г.
Китай	2000	69000	69000
Вьетнам	99	4500	4300
Россия	510	2200	2200
Монголия	4,3	1900	1900
Северная Корея	29	1130	500
Боливия	30	1060	1400
Руанда	40	900	1000
Австрия	10	892	890
Испания	54	603	800
Португалия	3,1	518	680
Казахстан	1725	0	0
Прочие	380	1070	1000
Всего	4884,4	83800	84000

Таблица 1. (По данным Геологической службы США)

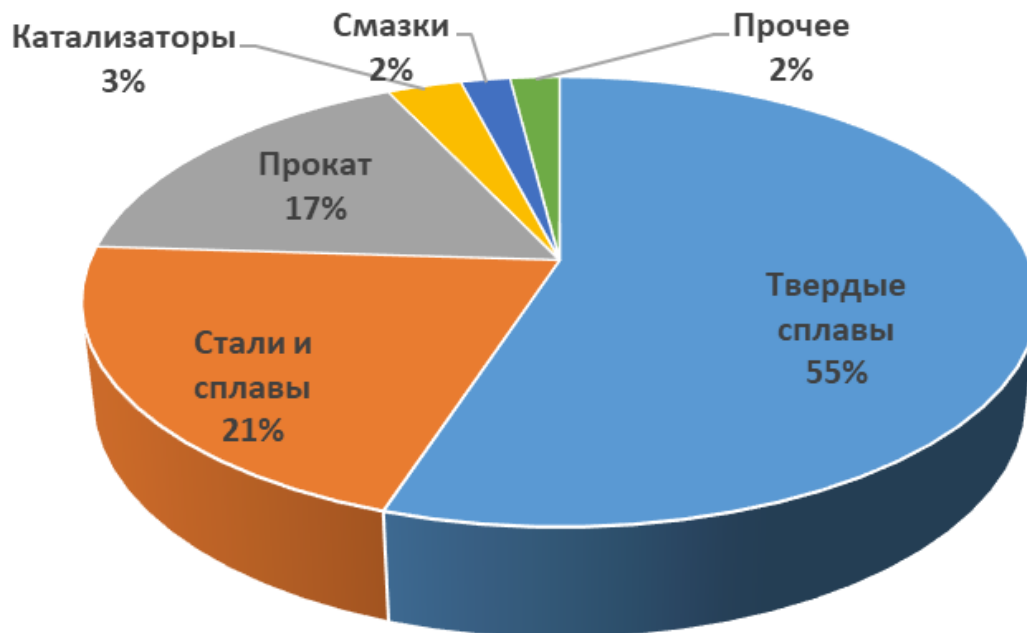


Рис. 1. Сферы использования вольфрамового сырья.

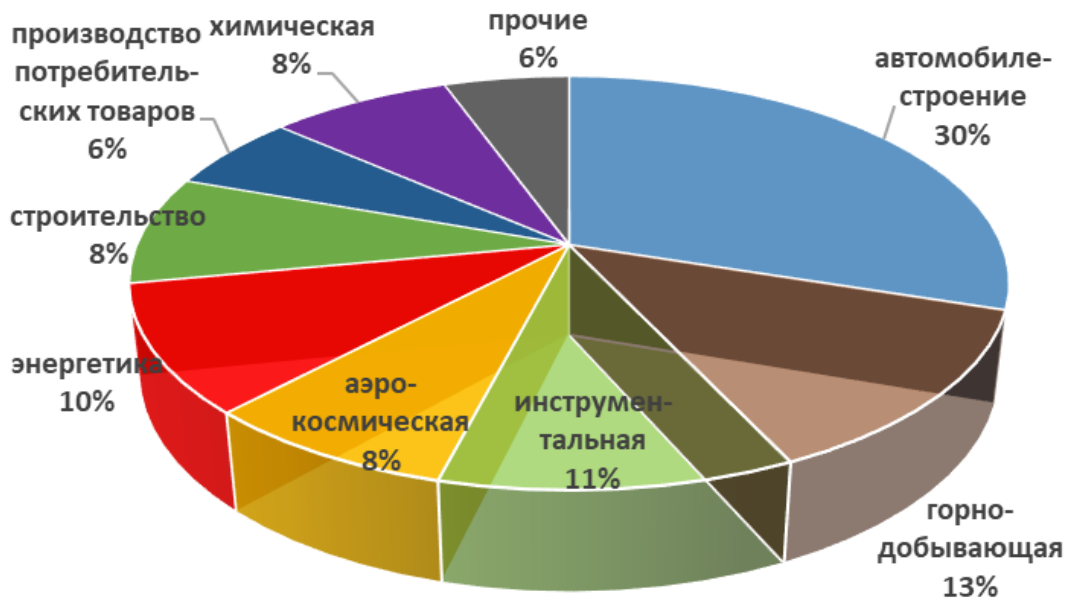


Рис. 2. Отрасли, потребляющие вольфрамовое сырье.

В зависимости от вольфрамсодержащего минерала, руды делятся на вольфрамитовые и шеелитовые. Первые, легче обогатимы и, потому, являются более востребованными в горнодобывающей отрасли. Однако, в природе они встречаются намного реже, чем шеелитовые. Поэтому, основным источником сырья стали широко распространенные, сложные по составу и сравнительно труднообогатимые шеелитовые руды, являющиеся объектом изучения в рамках данной работы.

1.2. Типоморфизм минералов

Понятие о типоморфизме минералов впервые было рассмотрено австралийским минералогом и петрографом Ф. Бекке, и дальше, в 30-е годы прошлого столетия последовательно развивалось минералогом А. Е. Ферсманом. Ферсман создал целостное учение о типоморфизме минералов и придал ему практическую направленность, положив в основу минералогии и методов поисков полезных ископаемых. (Павлишин В. И., 1983)

В современном значении, типоморфизм минералов обозначает взаимосвязь форм выделения, особенностей кристаллической структуры, состава, физических свойств минералов с условиями их образования.

Термин «типоморфизм минералов» в настоящее время используется не очень часто, особенно в зарубежных источниках, но это не препятствует активному изучению типоморфных

свойств минералов с целью изучения генезиса различных пород и руд, как показали, например, результаты работы XVIII съезда Международной минералогической ассоциации «Минералогия нового тысячелетия» в 2002 году в Эдинбурге. (Mineralogy,...2002)

К типоморфным особенностям минералов принято относить (Рис. 3):

- Кристалломорфология (габитус кристаллов, двойники, характер агрегатов. и др.);
- Вариации химического и изотопного составов;
- Некоторые физические свойства (плотность, микротвёрдость, отражательная способность, люминесценция, магнитность и др.);
- Структурные особенности (степень упорядоченности структур минералов, различие в структурах поли типов, микротвёрдость, отражательная способность, плотность, люминесценция и т.д.).

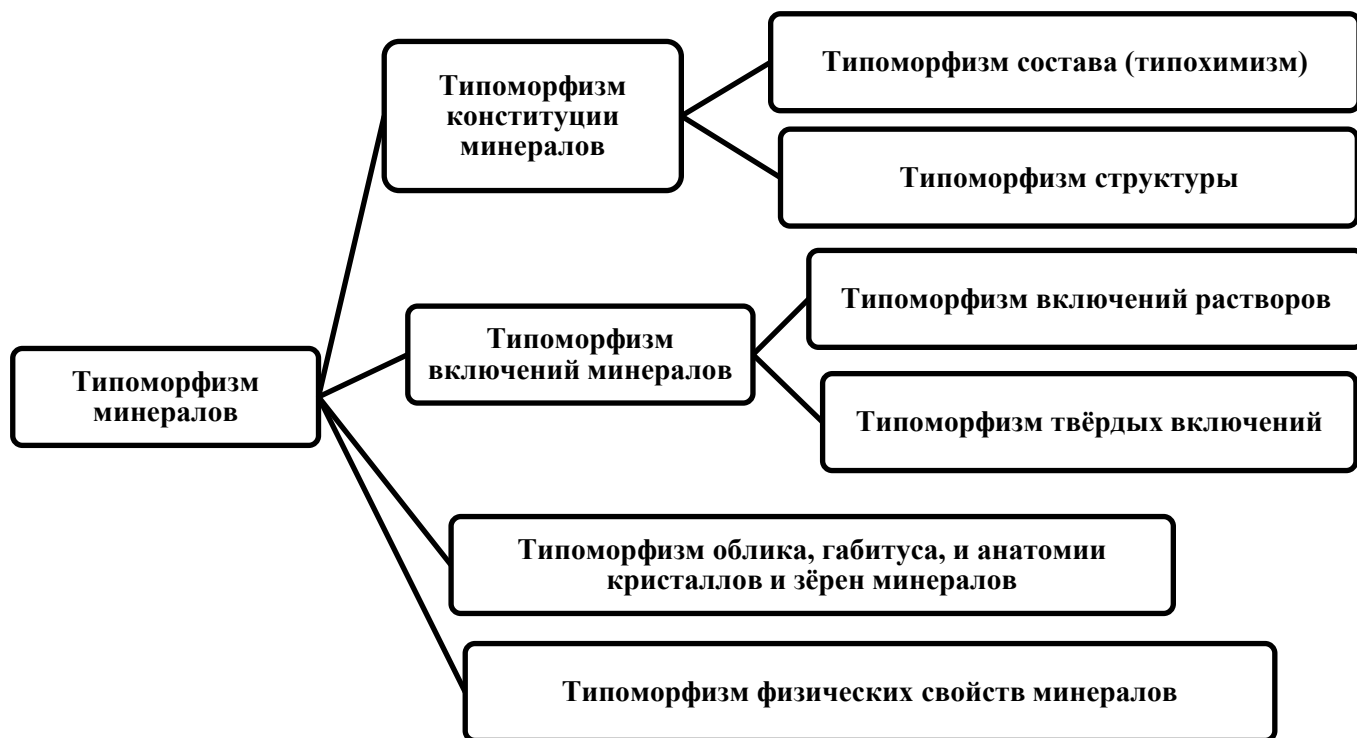


Рис. 3. Классификация типоморфных особенностей минералов (по Павлишину В.И., 1983)

Типоморфные свойства и признаки минералов могут служить индикаторами условий их образования (температуры, давления, состава растворов или расплавов, вариаций щелочности – кислотности). Типоморфизм минералов так же используют для решения множества практических задач (при оценке рудоносности горных пород, поисках рудных месторождений, определении промышленного значения рудопоявлений, поиске скрытых рудных тел и т. д.) (Гинзбург, 1989).

Объективная оценка типоморфных особенностей состава, структуры и свойств минералов предполагает возможность использовать эти признаки как индикаторы определенных условий минералообразования и оценивать количественное распределение почти любых химических элементов.

Но, не смотря не все вышеперечисленные положительные заключения о типоморфизме минералов, всегда требуется дополнительные проверки независимыми способами, что значительно увеличит достоверность результатов.

Важность подобных минералогических исследований, в рамках данной работы, будет показана на основе типоморфизма светлых слюд на вольфрамовом месторождении Верхние Кайракты.

Слюды – это важнейшие породообразующие минералы, которые существуют в широком интервале термодинамических условий и несут огромную петрогенетическую информацию.

Для изучаемого месторождения характерны такие слюды как мусковит, биотит и флогопит. Особое внимание в работе уделено мусковиту и его разновидностям.

Образование мусковита в природе связано с метаморфическими, магматическими и постмагматическими процессами. Широкая распространённость мусковита в самых разнообразных комплексах пород и месторождений в сочетании с изоморфной гибкостью и ёмкостью его структуры обуславливает первостепенное значение этого минерала в проблеме типоморфизма. (Гинзбург А.И., 1989)

2. Геологическая характеристика района исследований

2.1. Региональная позиция месторождения

Исследуемое месторождение располагается в пределах Агадырского рудного района, занимающего срединную часть Центрального Казахстана. Значительная часть территории республики Казахстан располагается во внутриконтинентальном Урало-Монгольском складчатом поясе.

По большей части, Казахстан слагают палеозоиды (рис. 4), а остальную часть занимают молодые платформы и выступы докембрийского основания. В соответствии с тектоническим районированием и формационно-металлогеническим анализом в складчатых областях палеозоид было выделено большое число структурно-металлогенических зон (СМЗ) (А. К. Мазуров, 2005).

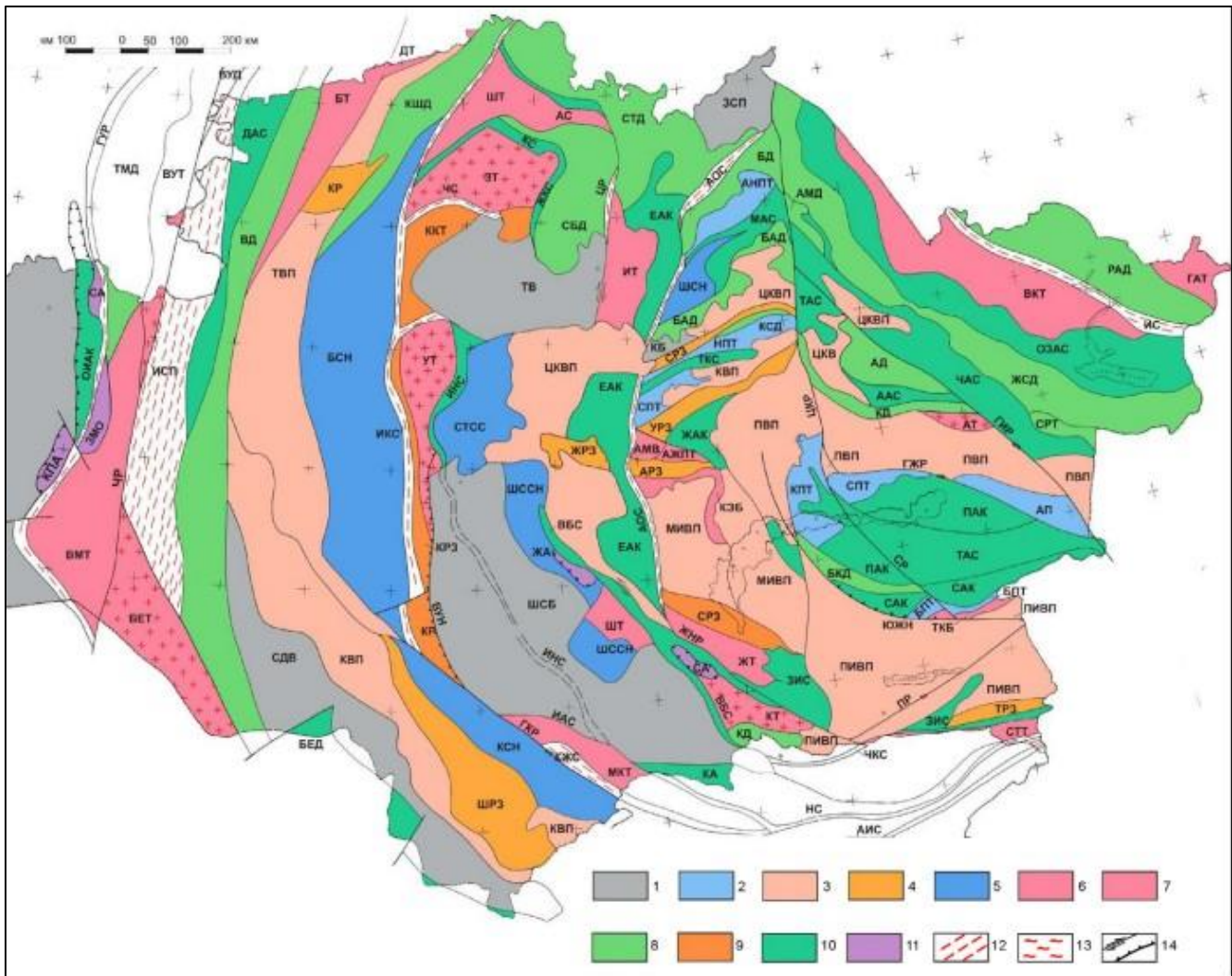


Рис. 4. Схема тектонического районирования палеозоид Казахстана (Коробкин, Смирнов, 2003, 2006)

1 — тектонические впадины; 2 — фрагменты преддуговых террас; 3 — вулканические и вулканоплутонические пояса; 4 — рифты и авлакогены; 5 — складчато-сдвигово-надвиговые зоны; 6, 7 — кратонные террейны: 6 — подвергнувшиеся слабой гранитизации, 7 — с гранитогнейсовыми куполами; 8 — фрагменты вулканических островных дуг; 9 — фрагменты рифтогенных бассейнов; 10 — коллизионные сuture с аккреционными призмами; 11 — офиолиты; 12 — зоны трансформных сuture и шовные зоны; 13 — сланцевые зоны; 14 — постколлизийные разломы.

В тектоническом отношении, исследуемое месторождение приурочено к северо-западной части Джунгаро-Балхашской герцинской складчатой области, выходя на западе в позднекаледонский вулканический пояс и ограничиваясь со всех сторон глубинными разломами.

2. 1. 1. Джунгаро-Балхашская складчатая система

Джунгаро-Балхашская складчатая герцинская система является довольно крупной тектонической структурой, которая расположена на юго-востоке Казахстана.

Эта неоднородная система, которая активно развивалась на протяжении байкальской и каледонских тектонических эпох, представляет собой ромбовидную структуру с размерами примерно 600 x 700 км, ограниченную с северо-востока Чингиз-Тарбагатайской, а с юго-запада Кокшетау-Северо-Тянь-Шаньской каледонскими зонами (Рис. 5).

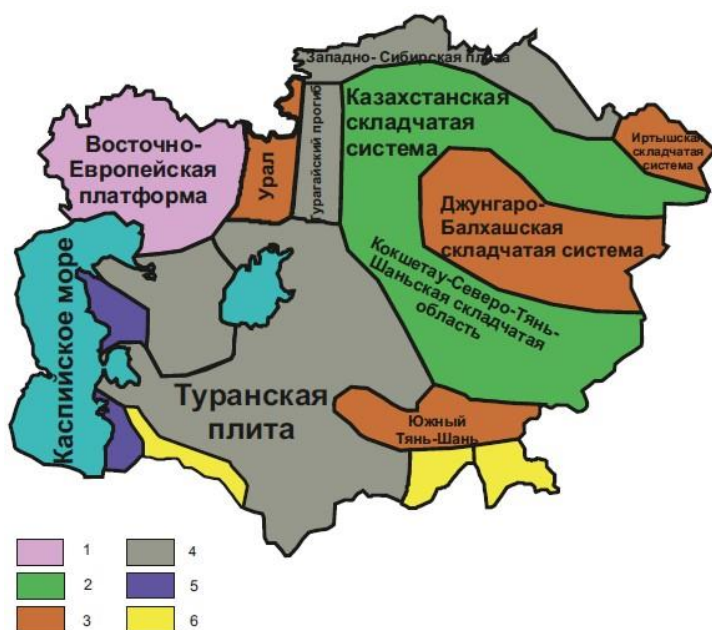


Рис. 5. Геологическая карта Казахстана и Средней Азии

1- древние платформы, 2- каледониды, 3- герциниды, 4- эпигерцинские плиты, 5- мезозоиды, 6- альпиды;

В регионе выделены следующие типы палеоструктур: Джунгаро-Балхашский (рис. 6) окраинный палеобассейн, которому на современном эрозионном срезе соответствует Северо-Балхашская СФЗ; краевой материковый вулканический пояс с элементами островодужных режимов в отдельных частях, Балхаш-Илийский каменноугольно-пермский внутриконтинентальный вулканоплутонический пояс. (Мазуров, 2005).

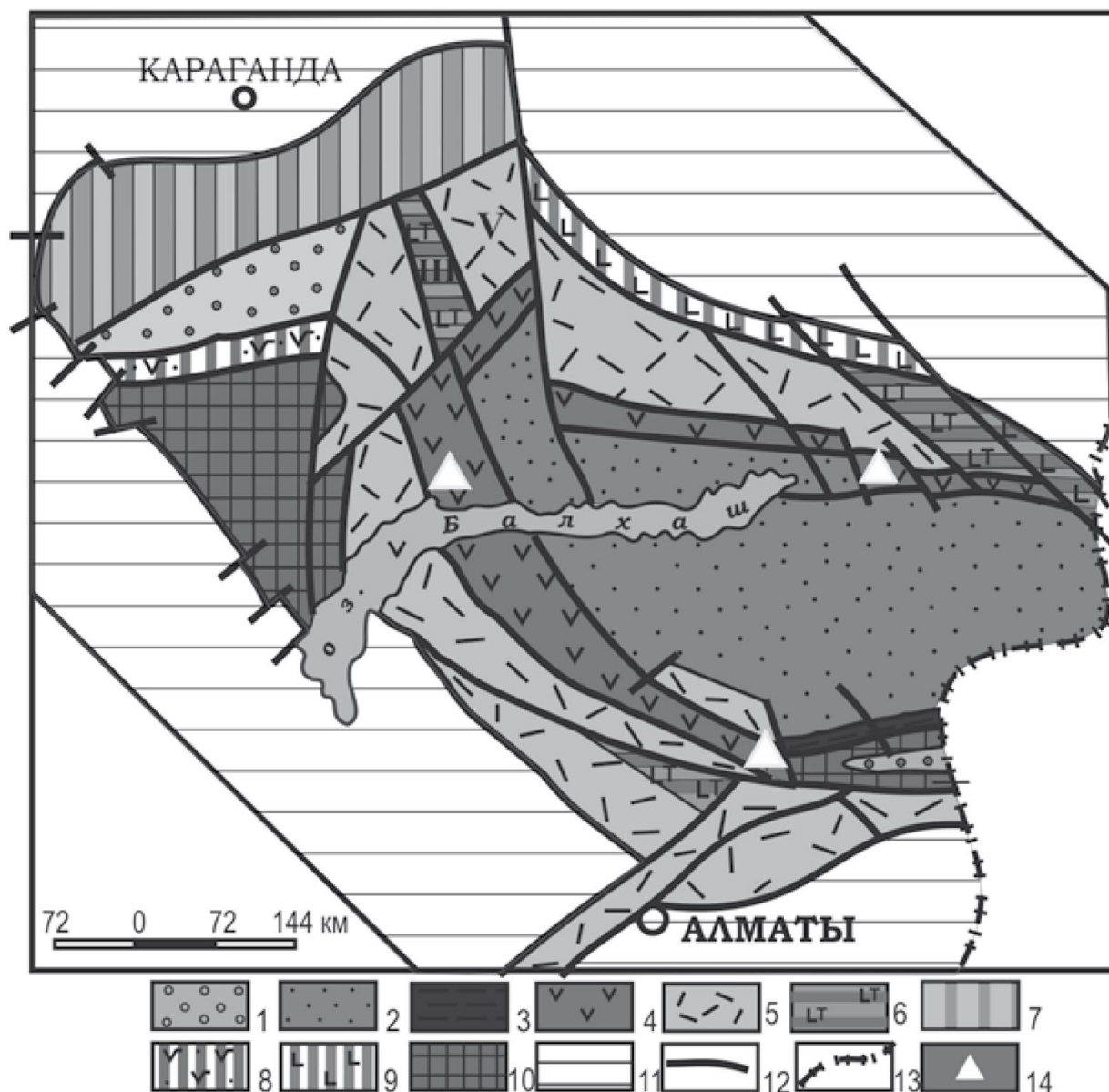


Рис. 6. Схема структурно-формационного районирования Джунгаро-Балхашской складчатой системы (Сейтмуратова Э. Ю., 2011)

1-3 - Джунгаро-Балхашский палеобассейн: 1 - внешний шельф, 2 - внутренний шельф, 3 - глубоководные впадины, 4 - *Тасты-Кусак-Котырасан-Алтынэмельский ВПП*, 5 - *Балхаш-Илийский ВПП*, 6 - структуры континентальных рифтов пермского времени с субщелочным магматизмом; 7 - тафрогенная структура; 8-9 - шовные рифтингового типа структуры со среднеосновным вулканизмом; 10 - блоки Актау-Джунгарского микроконтинента; 11 - каледонские структуры обрамления ДБСО; 12 - глубинные разломы и границы СФЗ; 13 - государственная граница; 14 - номера СФЗ.

Позднепалеозойский вулcano-плутонический пояс представляет собой незамкнутую полуовальную зону, открытую к юго-востоку. Пояс сложен вулканитами с горизонтами осадочных пород и прорывающими их интрузиями. В северной части позднепалеозойский пояс отделен от девонского Тектурмасским, Жанааркинским, Жаман-Сарысуйским и Сарысу-Моинтинским антиклинориями и Сарысуйским и Успенским синклинориями. На юге и юго-востоке он частично перекрывает девонский пояс (Мазуров, 2005).

В тектоническом плане, изучаемое месторождение, располагается в зоне сочленения Жамансарысуйского антиклинория, сложенного позднекаледонскими осадочными отложениями, и Успенского синклинория, в строении которого принимают участие вулканогенные и вулканогенно-осадочные образования раннегерцинской формации краевых островных дуг и карбонатно-терригенные отложения наложенных мульд, рассмотрим их более подробно в следующих разделах.

2. 1. 2. Успенская зона

В настоящее время Успенская зона остается одной из наиболее дискуссионных структур Казахстана.

Преобладающее большинство исследователей, рассматривают эту СФЗ как молодую структуру, наложенную на сформированные складчатые сооружения. Заложение зоны при этом относится к живетскому времени, в связи с тем, что первый же вещественный комплекс зоны, с которого начинается непрерывный ее разрез формировался в обстановке континентального рифтогенеза с преобладанием среди вулканитов трахибазальтов и трахириолитов. Рифтогенная обстановка фиксируется в составе девонских вещественных комплексов начиная от живета до фомена (D₂gv - D₃fm). Примечательно, что к фаменскому времени в осадочно-вулканогенных комплексах девона заметно увеличилось количество осадочных пород. (Даутбеков, 2018)

Начало каменноугольного времени, для Успенской зоны, характеризуется прекращением вулканизма и активным формированием в рифтогенной впадине осадочных формаций: глинисто-терригенно-карбонатной (C_{1t1}) и углисто-кремнисто-терригенно-глинистой (C_{1t2-v1}). Подобная обстановка сохраняется и в юго-западной части Успенской зоны, где картируется раннекаменноугольная (C_{1v2-s1}) углисто-кремнисто-глинисто-терригенная формация с редкими прослоями пепловых туфов, приносимых с северо-восточной части зоны, где началась активная вулканическая деятельность. В дальнейшем, (от C_{1s2} до $P1k$) вся рифтогенная Успенская зона развивалась в обстановке внутриконтинентального пояса.

Металлогеническая специализация Успенской СФЗ - полиметальная. В этой зоне выявлено 43 объекта различной минерализации – Pb, Zn, Cu, Ni, Mo, Ag, W, Bi, Ba, Mn, Fe. Преобладающей является редкометальная минерализация. В СФЗ находятся крупнейшие редкометальные месторождения Центрального Казахстана – Коктенколь, Северный Катпар, Верхнее Кайракты, Акмая, Нураталды.

2. 1. 3. Жаман – Сарысуйская зона

Жаман-Сарысуйская зона (рис. 7.) относится к области формирования каледонской континентальной коры, в становлении которой выделяются следующие главные стадии, и, соответственно, формирующиеся при этом структурно-тектонические комплексы:

1) Комплекс океанической стадии, представляемый яшмо-диабазовой формацией среднего-позднего ордовика ($O_2 - 3tl$);

2) Комплексы краевого моря с подкомплексами раннего и позднего этапов его развития, которым соответствуют формации: флишоидная ранне-позднего силура ($S_1 - 2mr$) и контрастная андезибазальт-риолитовая вулканогенно-осадочная островная живет-франа ($D_{2gv} - D_{3f}$) (Даутбеков, 2018).

Металлогения Жаман-Сарысуйской зоны определяется крупнейшим редкометальным месторождением кварцево-жильно-грейзеновой формации - месторождениями Акчатау, Верхние Кайракты, Байназар, Батыстау и др. Месторождения, расположенные в пределах данной зоны, совместно с мелкими проявлениями образуют рудное поле, в котором редкометальное оруденение контролируется крупным плутоном гранитов акчатауского комплекса.

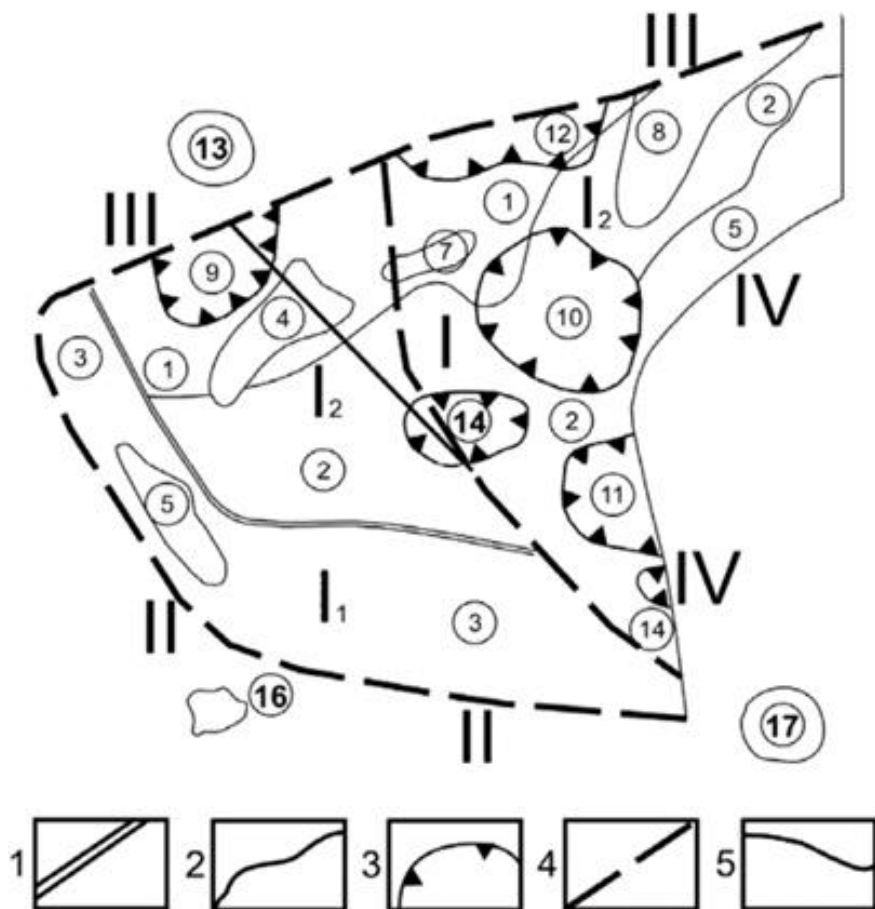


Рис. 7. Схема тектонического районирования Жаман-Сарысуйской зоны (по Кораблеву, 1988).

1 – границы структурно-формационных подзон; 2 - границы складчатых структур; 4 - глубинные разломы; 5 - разломы;

2.2. Месторождение Верхние Кайракты

2.2.1. История открытия месторождения

Вольфрамовое месторождение Верхние Кайракты было открыто в 1945 году результате поисково-разведочных работ масштаба 1:100000 в 1945 году геологом Г. И. Бедровым по данным шлихового опробования. Основной этап разведки проходил с 1950 по 1959 годы, а дополнительный с 1980 по 1982 годы. (Щерба, 1960)

В мае 2016 года контракт на разведку и добычу руд месторождения заключило ТОО «Северный Катпар» — дочернее предприятие АО «НГК «Тау-Кен Самрук». Промышленное освоение руд месторождения все еще находится на предпроектной стадии. В будущем на

территории месторождения планируют построить горно-обогатительный комбинат и крупный металлургический комплекс.

В настоящее время на участке месторождения расположен затопленный опытно-промышленный карьер и вскрышные отвалы.

2.2.2. Географическое положение месторождения

Административно месторождение Верхние Кайракты расположено в Шетском районе Карагандинской области Республики Казахстан (рис. 8).



Рис. 8. Месторождение Верхние Кайракты на карте

Месторождение размещается в благоприятных географо-экономических условиях, вблизи от крупных транспортных и энергетических коммуникаций.

Рельеф района месторождения представлен мелкосопочником с относительным превышением сопок 60 - 80 м.

Гидрографическая сеть в районе месторождения представлена плохо оформленными долинами мелких рек Бес-Балдак, Кайракты и верховьем реки Кара-Узень – притока реки Шерубай-Нура. Поверхностный водоток существует только во время паводка, а в остальной период, сток осуществляется только по погребенным руслам.

Климат района характеризуется незначительным количеством осадков (246 - 348 мм), сильными засушливыми ветрами, жарким летом и продолжительной зимой, сопровождающейся буранами. Круглый год наблюдается дефицит влажности.

Топливо-энергетическая база в районе месторождения отсутствует.

Железнодорожная сеть района представлена магистральной линией Астана-Караганда-Жарык-Луговая и железнодорожной линией местного значения Жарык-Жезказган с тепловозной тягой.

Автодорожная сеть района представлена государственными магистралями с капитальным покрытием Караганда-Балхаш (в 32 км на восток от месторождения) и Караганда-Жезказган (в 40 км на запад), асфальтированной автомагистралью Агадырь-Аксу-Аюлы (в 15 км), а также развитой сетью автодорог местного значения с облегченным и переходными типами покрытий.

2.2.3. Геологическое строение месторождения

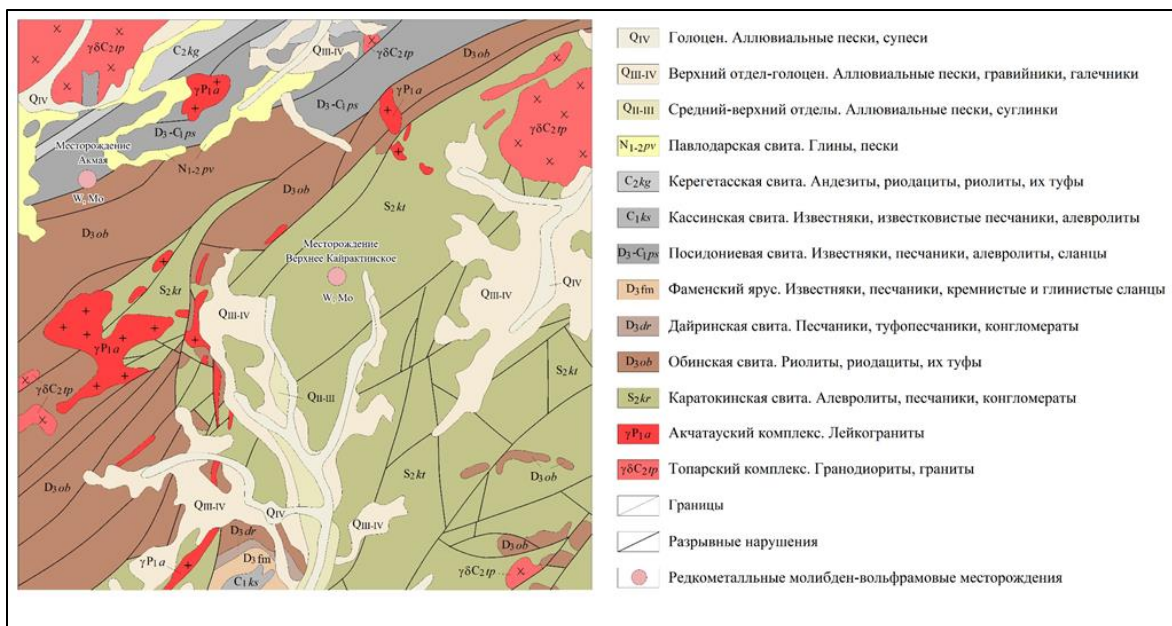


Рис. 9. Обзорная геологическая карта района месторождения (М-б 1:200 000)

Формирование месторождения произошло в позднегерцинский цикл пермского времени. Молибден-вольфрамовое оруденение связано с позднегерцинский активизацией, завершающей образование основных герцинских структурно-формационных зон.

По данным гравиметрической съемки месторождение находится в надинтрузивной зоне гранитного массива размером 17x5 км с верхней границей 2,2 км и нижней 6-7 км. Промышленные рудные тела приурочены к штокверку, сформированному серией крутопадающих прожилков и кварцевых жил, залегающих в толще измененных осадочных пород. Общий контур штокверковой зоны 10x18 км, а редкометальная продуктивная часть занимает площадь 2300 м². Вольфрамовое оруденение развито с поверхности до глубины 750-800 м. Молибденовое оруденение тяготеет к нижним горизонтам. (Исаева, 2010)

2. 3. Стратиграфия

Силурийская система (S)

Верхний отдел (S₂) представлен флишоидными ритмично-переслаивающимися песчаниками, алевролитами, сланцами с прослоями гравелитов, конгломератов, реже рифовых известняков и известковистых алевролитов. Мощность более 3000 м. Стратифицированные

образования верхнего силура составляют более 90% площади месторождения. (Романов, Лыков,1990)

Девонская система (D)

Нижний и средний отделы (D₁₋₂) – алевролиты и песчаники с линзами гравелитов и конгломератов, редко известняков. Мощность толщи более 1600 м.

Верхний отдел. Франский ярус (D₃ fr) – липаритовые и липарито-дацитовые лавы и кристалло- и литокристаллокластические туфы, флюидальные липариты и липарито-дациты, переслаивающиеся с туффитами, туфоагломератами и туфоконгломератами, туфолавы с горизонтами лавоагломератов, прослой андезитов, туффитов, песчаников и алевролитов. Мощность 1800-2000 м. (Романов, Лыков,1990)

Каменноугольная система (C)

Нижний отдел. Нижнетурнейский подъярус (C_{1t1}) – мраморизованные известняки и мрамора с прослоями полимиктовых песчаников, известково-кремнистых и кремнисто-глинистых пород. Мощность толщи 500-600 м.

Верхнетурнейский подъярус-визейский ярус (C_{1t2-v}) – косослоистые песчаники и алевролиты с линзами криноидных и пелитоморфных известняков. Мощность 200-300 м.

Средний-верхний отделы. Кергетаская свита (C_{1-2kzt}) – пепловые, литокристаллокластические туфы, туфы дацитов, трахиандацитов, и андезито-дацитов с прослоями туффитов и туфоалевролитов. Местами присутствуют покровы тонкофлюидальных липарито-дацитовых лав, липаритовых и липарито-дацитовых порфиров. Мощность толщ 200-300 м.

Кайнозойская группа (kz)

Среди кайнозойский образований выделяются аллювиальные полимиктовые и кварцевополевошпатовые пески и галечники палеогена мощностью 5-10 м; миоценовые и плиоценовые глины общей мощностью до 80 м; четвертичные делювиально-пролювиальные и пролювиальные отложения, представленные суглинками, супесями, глинами, щебнисто-

валунным материалом суммарной мощностью до 75 м. Суммарная мощность 75 м. (Романов, Лыков, 1990)

2. 4. Магматизм

Интрузивные образования на месторождении представлены дорудными дайками и малыми телами кварцевых габбро-диабазов, габбро-диоритов и диоритовых порфиритов позднего девона - раннего карбона, дайками липаритов позднего девона и пострудными дайками диабазовых порфиритов позднепермского возраста. (Романов, Лыков, 1990)

Интрузивные образования слагают около 20 % от площади исследуемого района.

На изучаемом объекте, по геолого-геофизическим данным, интрузивный магматизм представлен полихронным плутоном, с заключительными фазами которого связано вольфрамовое оруденение с молибденем. Полихронный плутон сложен интрузивными телами пяти комплексов от основного до кислого состава. Предполагаемый массив имеет сложное строение размером 17x5 км с верхней границей 2,2 км и нижней 6–7 км.

На глубоких горизонтах рудных участков, предшествующими исследователями, были установлены куполообразные выступы позднепермских лейкогранитных интрузий Акчатаукского комплекса (P₂), вскрываемые на глубоких горизонтах месторождения, а также с дайками кварцевых порфиров и фельзит-порфиров. (Гусев, 2009)

Была установлена связь многих гранитных массивов акчатаукского комплекса (P₂) с кольцевыми структурами (рис. 10). (Негрей, 1983)

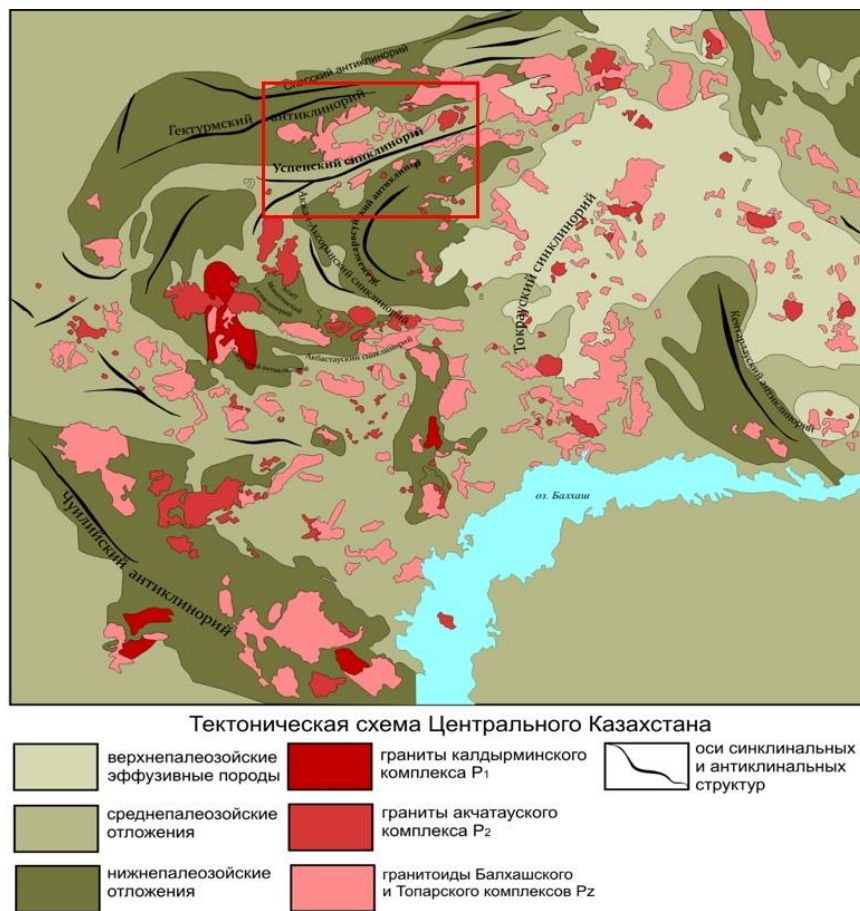


Рис. 10. Тектоническая схема Центрального Казахстана

В структурах, сложенных массивами Акчатауских гранитов формирование происходило в две-три фазы, либо в одну образованием внутрикамерных дифференциатов. Магматическая деятельность завершилась образованием дайковых серий. (Негрей, 1983)

Анализируя особенности геологического строения некоторых акчатауских гранитных массивов, выявляются 2 основные геолого-структурные позиции:

1. Первый тип – это кольцевые структуры диаметром 25 - 40 км, где внешние кольца выполнены дайками, формирующими круглые центрклиналильные структуры. В центре этих структур располагаются граниты акчатауского комплекса главной и дополнительных интрузий.
2. Второй тип магматических систем приурочен к участкам перехода антиклинорных структур в синклинозные, например, сочленения Жаман-Сарысуйского антиклинория с

Токрауским, Успенским и Актал-Аксоранским синклиориями. В этом случае, в строении массивов гранитов значимую роль приобретают граниты второй, а иногда и третьей фазы.

По данным ряда геофизических исследований, для рудоносных массивов акчатауских гранитов характерно строение тел, близкое к лакколлитам, с многочисленным количеством гребней, куполов и апофизами в кровле. Оруденение в рудоносных гранитах сосредотачивается в основном на окраинных частях, либо на апофизах магматических тел.

Кольцевые структуры выделялись и исследовались в Центральном Казахстане многими авторами. Ими отмечалась локализация во внешних дугах многочисленных кольцевых структур интрузивных массивов с приуроченными к ним месторождениями полезных ископаемых: к Кылчинской кольцевой структуре – Караобинский массив, к Ортауской – Коктенколь, к Акирекской – массивы Акчатау и Селтей, в месте сопряжения Жаксы-Таламинской и Баймурундской зон располагается Верхнекайратинской массив. (Белозёров, 2017)

2.5. Метаморфизм

Породы месторождения претерпели интенсивные изменения.

С процессом регионального метаморфизма связаны многочисленные метаморфогенные жилы, линзы, тела, прожилки кварц-хлорит-эпидот-актинолитового состава.

При формировании Успенской зоны смятия породы месторождения были подвержены динамометаморфизму – в той или иной мере рассланцованы.

Под воздействием контактового метаморфизма все породы месторождения в разной степени ороговикованы. Степень ороговикования постепенно снижается к флангам месторождения и возрастает с глубиной, сменяясь от кварц-мусковитовой до кварц-биотитовой фации. Ореол максимального ороговикования относится к площади месторождения (Щерба, 1960).

Гидротермальные изменения на месторождении проявлены биотитизацией, фельдшпатизацией, серицитизацией, окварцеванием и пиритизацией, хлоритизацией. Наложённые гидротермальные изменения проявились во всей массе вмещающих пород, однако их интенсивность не всегда одинакова. (Романов, Лыков, 1990)

Развитие гидротермалитов контролируется зонами повышенной проницаемости. Более поздние экзогенные процессы сформировали на месторождении зону окисленных руд. Зона окисления выражена четко, ее формирование связано с развитием площадной коры выветривания щебенисто-гидролюдистого профиля, а также и гипергенным окислением пирита. Морфологически зона окисления относится к площадному типу. Глубина развития зоны окисленных руд колеблется от 5 до 40 м, в среднем составляя 21,5 м от поверхности. (Романов, Лыков, 1990)

2.6. Тектоника

В структурном плане месторождение приурочено к юго-восточному крылу антиклинальной складки северо-восточного простирания, осложненная изоклинальными складками более высоких порядков, в основном, северо-восточного простирания от узких, линейных до брахиформных, часто опрокинутых на северо-запад. В целом простирание складок определяется направлением разломов. Зоны межразломной складчатости характеризуются широким развитием кливажа осевой плоскости. (Романов, Лыков, 1990)

Дизъюнктивные нарушения проявлены на месторождении весьма широко. Субмеридиональные разрывные нарушения (азимут простирания $340-360^\circ$, падение плоскостей сместителей на запад и восток под углами $80 - 90^\circ$) создают в пределах месторождения основную рудолокализирующую трещиноватость. Большая их часть представляет собой зоны повышенной трещиноватости непостоянной мощности (от 0,5 до 10 м), протяженностью в первые сотни метров. По трещинам развивается интенсивное ожелезнение, каолинизация.

Разрывные нарушения северо-восточного простирания ($10 - 20^\circ$) с падением на юго-восток под углами $65 - 75^\circ$ на месторождении единичны. Это нарушения сколового типа протяженностью первые километры и незначительной мощности (0,2 – 0,5 м); контролируют дайки как дорудные, так и пострудные, на отдельных участках вмещают непротяженные кварцевые жилы (мощность 0,1 - 0,2 м) рудного этапа, сопровождаются окварцеванием вмещающих пород. (Романов, Лыков, 1990)

Разрывные нарушения с простиранием $40-60^\circ$ и падением на юго-восток ($40 - 65^\circ$) широко развиты в восточной части. Они являются оперяющими наиболее крупного нарушения,

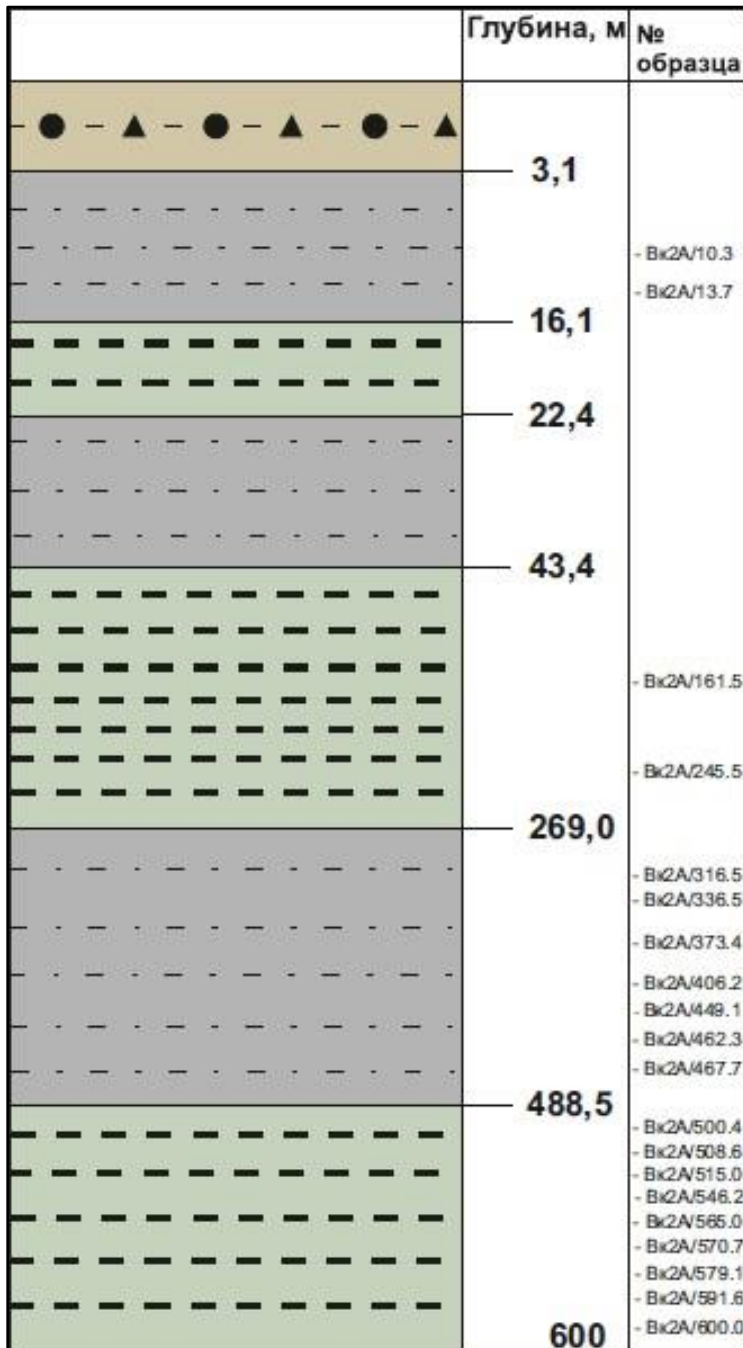
находящегося в южной части месторождения, и представляют собой единую зону рассеянного разрыва.

Северо-восточные тектонические зоны разбивают месторождение на плиты мощностью 50-100 метров.

В целом, центральная часть месторождения характеризуется резко повышенной нарушенностью в связи с совмещением разрывных нарушений различных систем. (Романов, Лыков, 1990)

3. Минералого-петрографическая характеристика пород

В рамках данной работы автором было выполнено оптическое исследование образцов (шлифы - 44 шт., аншлифы - 45 шт., прозрачно-полированные шлифы - 40 шт.) отобранных из геологоразведочной скважины 2А (рис. 11) в интервале от 0 до 600 м.



Условные обозначения:

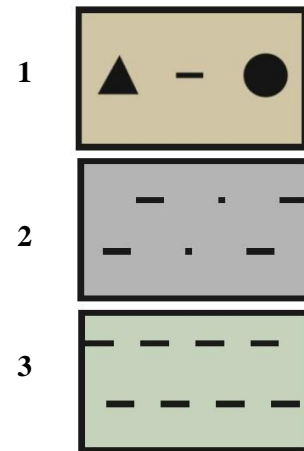


Рис. 11. Геологическая колонка по скважине 2А

1- Кора выветривания, 2- Алевропесчаник, 3- алевролит.

Породы в разрезе данной скважины представлены преимущественно алевролитами и алевропесчаниками, по которым широко развиты метасоматиты серицит-кварцевого состава.

Алевролиты

Алевролиты слагают почти 60% от всех пород скважины 2А, и являются доминирующими рудовмещающими породами.

Породы представляют собой мелко-тонкозернистые породы светло-, реже тёмно-серого цвета с, преимущественно, полосчатыми и массивными текстурами (рис. 12). Алевролиты примерно на 60 - 80% состоят из обломочного материала полуокатанной формы размером от сотых долей до 0,1 мм. Цементирующий материал слюдисто-кварц-полевошпатового состава.

Главными породообразующими минералами являются: кварц (40%), плагиоклаз (15%), полевой шпат (5%). Плагиоклаз интенсивно серицитизирован. Так же, в породе установлены: мусковит, биотит, клиноцоизит, флюорит, хлорит.



Рис. 12. Фото керна, алевролиты с интервала 19.4 - 23.0

Алевропесчаники

Алевропесчаники слагают около 40% от всех пород из геологоразведочной скважины 2А. Они представляют собой тонко- мелкозернистые породы серого, либо тёмно-серого цвета, с массивными текстурами (рис.13). Мощность их прослоев достигает от 60 до 120 см

Породы были подвержены сильному метасоматическому преобразованию, в результате чего все структуры реликтовые.

Главными породообразующими минералами являются: кварц (60%), плагиоклаз (10%). Плагиоклаз в породе интенсивно замещён серицитом и хлоритом. Так же, в шлифах встречается мусковит, молибденит, биотит, флюорит, клиноцоизит, актинолит, хлорит.



Рис. 13. Фото керна, алевропесчаники с интервала 365.0 - 369.6

В ходе минераграфического изучения образцов автором были выделены 4 стадии минералообразования:

- 1) Кварц-биотитовая;
- 2) Сульфидная;
- 3) Вольфрамит-шеелитовая;
- 4) Флюорит-висмутовая.

В породах месторождения, по результатам минералогического и петрографического исследования препаратов, автором было установлено порядка 16 главных и второстепенных минералов (Табл. 2).

№	Название	Формула
1	Кварц	SiO_2^*
2	Мусковит	$(\text{K}_{0.524}\text{Na}_{0.024})_{0.548}(\text{Al}_{1.535}\text{Fe}^{2+}_{0.053}\text{Mg}_{0.201}\text{Ti}_{0.015})_{2.281}(\text{Al}_{0.643}\text{Si}_{3.357}\text{O}_{10})((\text{OH})_{1.805}\text{F}_{0.195})_2$
3	Биотит	$\text{K}_{0.611}(\text{Mg}_{1.607},\text{Fe}_{0.486})_{2.093}(\text{Si}_{3.421}\text{Al}_{1.414}\text{O}_{10})((\text{OH})_{1.516}\text{F}_{0.484})_2$
4	Гематит	Fe_2O_3^*
5	Магнетит	Fe_3O_4^*
6	Пирит	$\text{Fe}_{1.01}\text{S}_{2.00}$
7	Халькопирит	$\text{Cu}_{1.12}\text{Fe}_{1.21}\text{S}_{2.00}$
8	Молибденит	$\text{Mo}_{1.01}\text{S}_{2.00}$
9	Шеелит	$\text{Ca}_{0.97}\text{W}_{1.01}\text{O}_{4.00}$
10	Вольфрамит	$(\text{Fe}_{0.26},\text{Mn}_{0.70})\text{W}_{1.01}\text{O}_{4.00}$
11	Флюорит	$\text{Ca}_{1.03}\text{F}_{1.97}$
12	Самородный висмут	Bi
13	Висмутин	$\text{Bi}_{2.51}\text{S}_{3.00}$
14	Галеновисмутин	$\text{Pb}_{1.49}\text{Bi}_{1.64}\text{S}_{4.00}$
15	Тетрадимит	$\text{Bi}_2\text{TeS}_2^*$
16	Козалит	$\text{Pb}_2\text{Bi}_2\text{S}_5^*$

Табл. 2. Основные минералы вмещающих пород

Примечание: * - стехиометрическая формула

Характерные минералы кварц-мусковитовой стадии :

Мусковит



Мусковит обнаружен в образцах во всех интервалах скважины, является главным породообразующим минералом. Мусковит представлен в породе в виде сплошных чешуйчатых перетертых масс, сплошных широких полос.

В изученных образцах было установлено две разновидности мусковита:

1. Серицит – мелко-тонкозернистый мусковит белого цвета (размер зёрен - тысячные и сотые доли миллиметра);

2. Фенгит – твёрдый раствор состава $K(Al,Mg)_2(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2$, крайними членами которого являются минералы диоктаэдрических слюд: мусковит, алюмоноселадонит и селадонит;

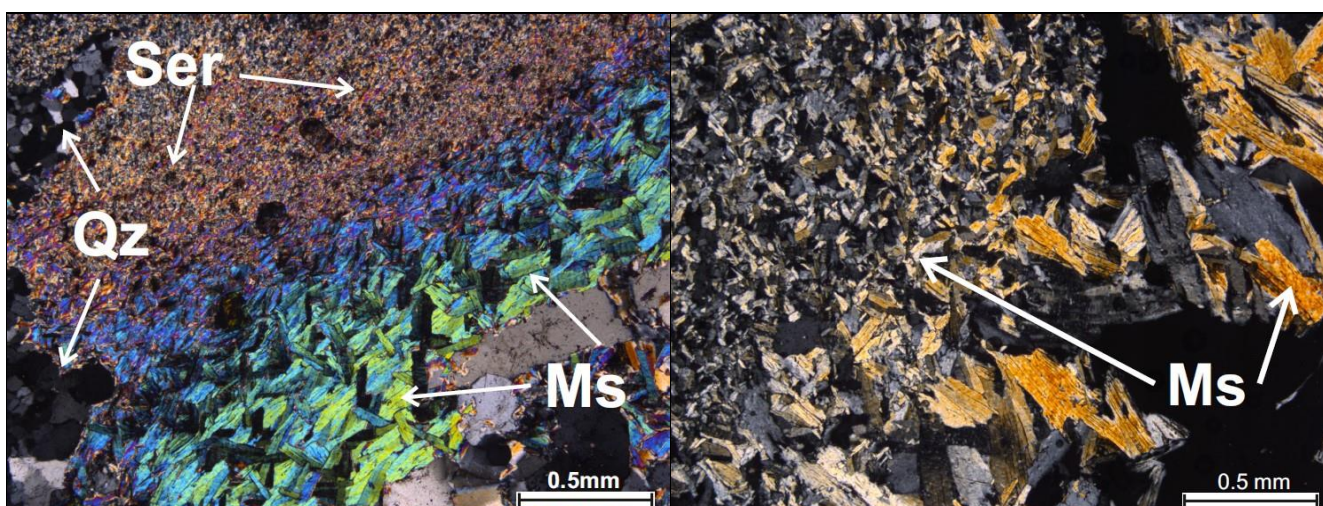
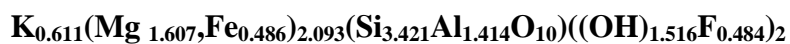


Рис. 14. Кварц-мусковит-серицитовый прожилок (фото с анализатором)

Рис. 15. Чешуйчатые выделения мусковита (фото с анализатором)

Биотит



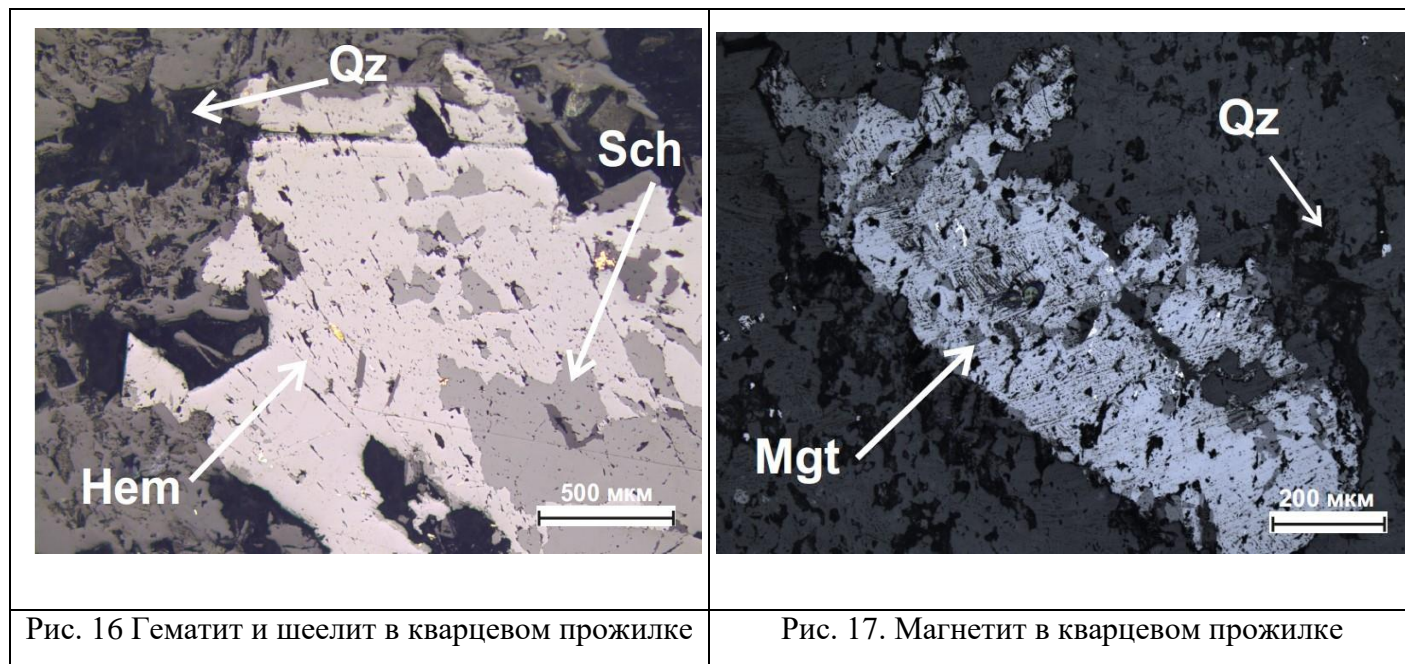
Биотит встречается в образцах, немного реже чем мусковит, но так же, установлен в образцах почти со всех интервалов скважины.

Минерал образует мелкие чешуйки, вытянутые по одной оси и неравномерно распределённые по породе. Размер чешуек, примерно 0,05 x 0,02 мм. Имеет красновато-коричневый цвет без анализатора и высокие цвета интерференции.

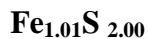
Характерные минералы сульфидной стадии:

Гематит Fe_2O_3 и магнетит Fe_3O_4

В изученных образцах минералы наблюдаются в самых различных формах, но чаще всего в виде гипидиоморфных включений в шеелит-кварцевых и кварцевых жилах и прожилках. Минералы также установлены в ассоциации с пиритом и шеелитом. Размер зёрен магнетита и гематита в среднем составляет 0.7 - 0.9 мкм.



Пирит



Пирит слагает основную массу сульфидной минерализации на месторождении. Минерал распространён повсеместно, он установлен как во вмещающих породах, так и в прожилках различного состава.

Выделяется 2 генерации пирита:

Пирит первой генерации является более ранним минералом, представлен различными по форме (от неправильных до гипидиоморфных) зёрнами, содержит включения висмутовых минералов, халькопирита и рутила. Размер зёрен пирита 1 генерации в среднем составляет 2 - 5 мм. Входит в состав кварцевых прожилков с шеелитом, молибденитом вольфрамитом и мусковитом.

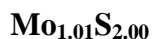
Пирит второй генерации является более поздним минералом, для него характерны более правильные по форме выделения, идиоморфные зёрна, ровные границы с соседними минералами. Размер зёрен пирита 2 генерации составляет в среднем 4-7 мм, а в редких случаях достигает 1.5 - 2 см. Отмечаются включения галенита, висмутовых минералов, сфалерита.

Халькопирит



Халькопирит в породах месторождения распространён значительно реже, чем пирит. Минерал отмечается как в виде самостоятельных зёрен, так и в виде включений и рассеянной вкрапленности в пирите и самородном висмуте. Размер зёрен халькопирита в среднем составляет до 3 мм.

Молибденит



На изучаемом месторождении выделяется 2 генерации этого молибденита.

Молибденит 1 генерации развит в метасоматических молибденит-кварцевых жилах и прожилках. Форма выделения в виде тонких чешуек.

Молибденит 2 генерации развит очень широко, но встречается преимущественно на глубоких горизонтах. Встречается в виде гексагональных пластинок и чешуек размером до 1 см в составе кварцевых прожилков с мусковитом, биотитом и шеелитом.

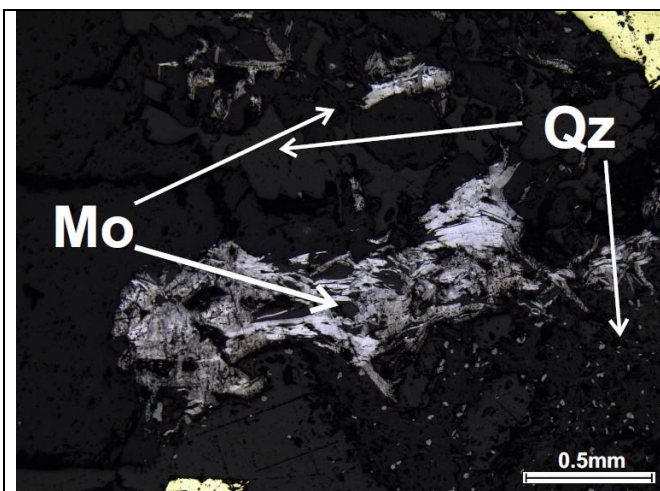


Рис. 18. Молибденит в кварцевом прожилке

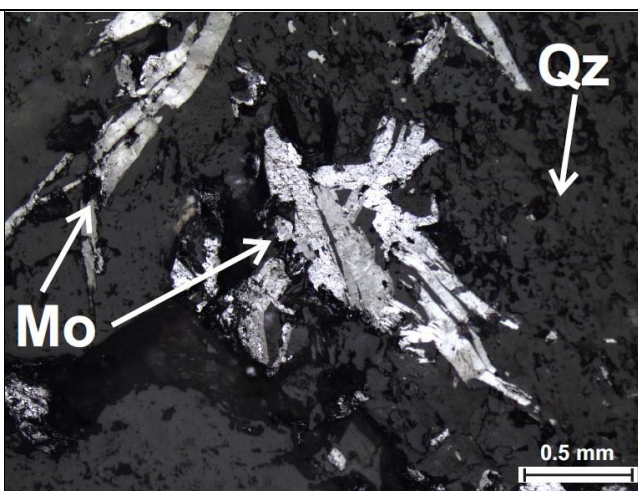


Рис. 19. Пластинки Молибденита 2 генерации в кварцевом прожилке

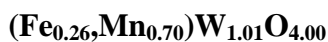
Характерные минералы вольфрамит-шеелитовой стадии:

Шеелит



Шеелит встречается в пяти генерациях жил и прожилков, так же установлен во вмещающих породах. Наблюдается замещение зёрен шеелита вольфрамитом, а также их тесные взаимопрорастания. Характеризуются бесцветными, желтоватыми и буроватыми окрасками. Размер зёрен колеблется в пределах 3-6 мм, достигая в редких случаях 1-1,5 см.

Вольфрамит



Вольфрамит главным образом присутствует в рассеянном по рудным прожилкам виде. Минерал обнаружен в трех генерациях жил и прожилков, концентрируется повсеместно. Вольфрамовая минерализация тесно связана с шеелитовой, практически все выделения вольфрамитов в той или иной степени подвержены замещению шеелитом вплоть до полных псевдоморфоз.

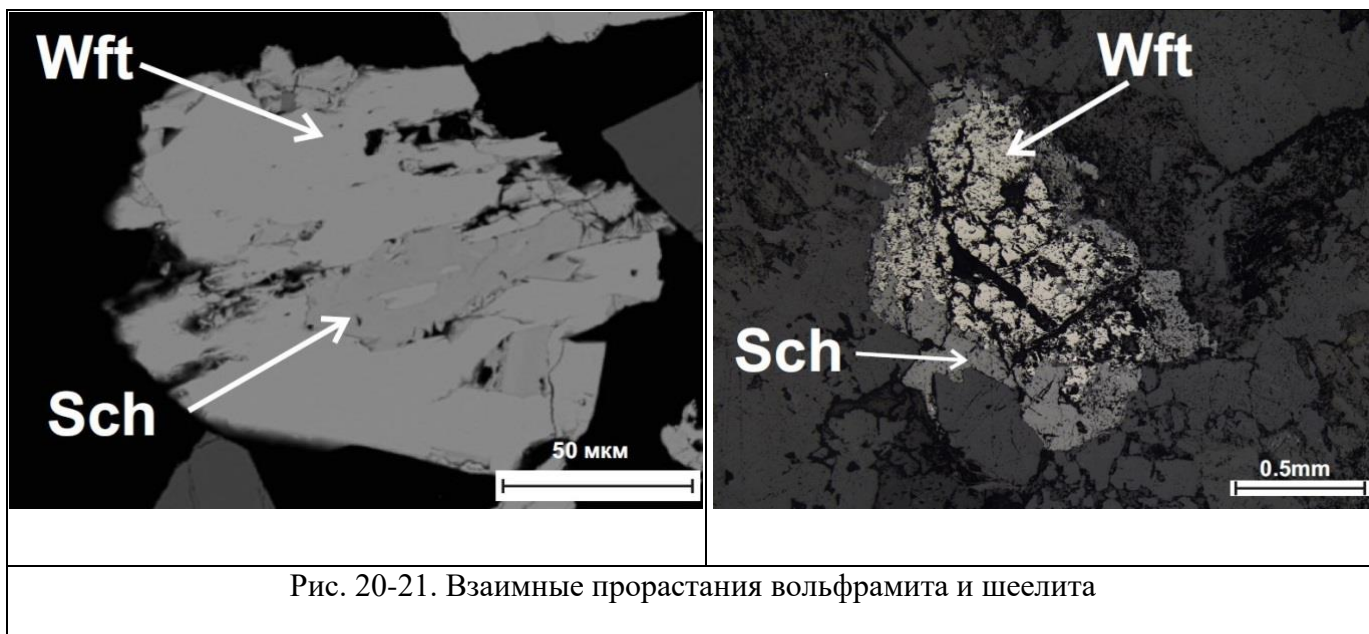
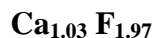


Рис. 20-21. Взаимные прорастания вольфрамита и шеелита

Характерные минералы флюорит-висмутовой стадии:

Флюорит



Флюорит относится к одним из самых поздних минералов. Является жильным минералом, ассоциирует с минералами группы висмута. Очень широко распространён в изученных образцах. В единичных случаях установлено, замещение шеелита флюоритом.

Минералы группы висмута на месторождении представлены:

- 1) Самородным висмутом - **Bi**;
- 2) Висмутином - **Bi_{2.51}S_{3.00}**;
- 3) Галеновисмутином - **Pb_{1.49}Bi_{1.64}S_{4.00}**;
- 4) Тетрадимитом - **Bi₂TeS₂**;
- 5) Козалитом - **Pb₂Bi₂S₅**;

Самородный висмут является одним из самых распространённых минералов из описываемой группы. В агрегатах его зёрен нередко отмечают включения теллуридов висмута, галеновисмутина и халькопирита. Встречается в поздних флюоритовых прожилках.

По результатам микрозондового анализа было установлено, что у минералов группы висмута химический состав меняется следующим образом: от краев к центру агрегатов,

самородный висмут находится в центре, а по краям наблюдаются образования висмутина, галеновисмутина, козалинта и тетрадимита.

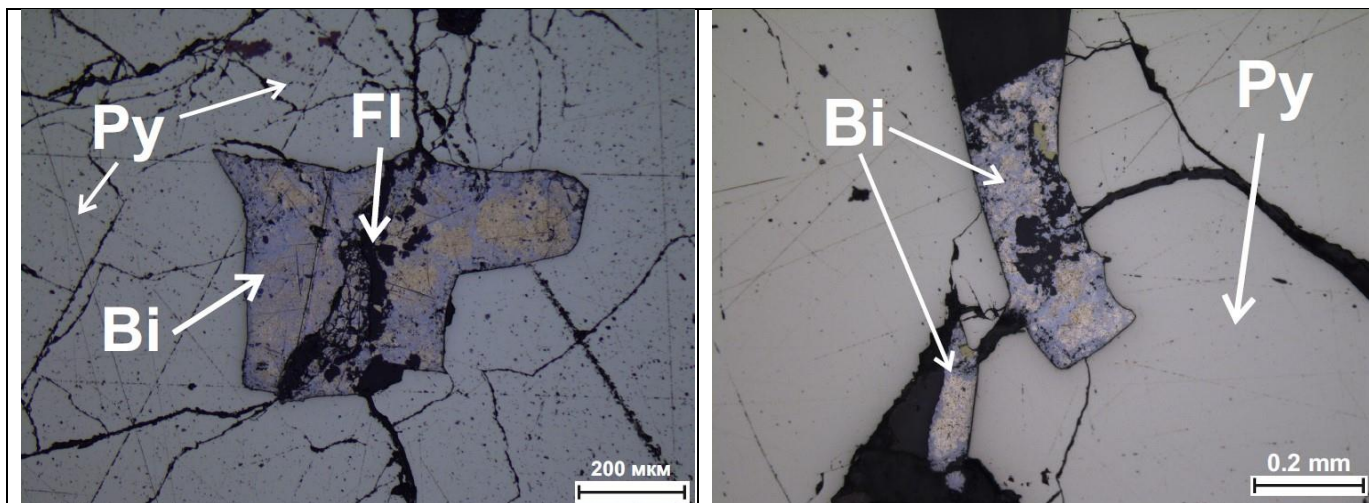


Рис. 22. висмутин в пирите, внутри флюоритового прожилка;

Рис. 23. Самородный висмут в пирите

Несмотря на то, что стадии минералообразования частично выделялись предшественниками (Пильдиш, 1991; Исаева, 2010) ранее, этот вопрос остался решённым не до самого конца, поэтому, с целью восстановления последовательности минералообразования автором была составлена сводная схема-последовательность минералообразования (рис.24).

Рудная минерализация установлена преимущественно в двух близкорасположенных конусовидных штокверковых зонах, вытянутых на поверхности в северо-западном направлении с погружением на юго-запад (Исаева, 2010).

На протяжении самой ранней стадии происходило формирование кварцевых жил с биотитом и хлоритом. В следующую, сульфидную стадию сперва образовались полевошпатовые и кварц - полевошпатовые жилы и прожилки. Сульфидно-кварцевый материал отлагался повсеместно, однако, с различной плотностью. В центральной и восточной частях штокверка плотность жил максимальна, и постепенно снижается к периферии месторождения. После чего произошло формирование основных рудных минералов. Процесс завершился образованием флюоритовых прожилков.

Стадии Минералы	Кварц- Мусковитовая	Сульфидная	Вольфрамит- Шеелитовая	Флюорит- Висмутовая
Биотит	—————	—————		
Хлорит	—————	—————		
Кварц	—————	—————	—————	
Серцит	—————	—————		
Мусковит	—————	—————		
Полевой шпат	—————	—————		
Флюорит			—————	—————
Гематит		—————		
Магнетит		—————		
Пирит		—————	—————	
Халькопирит		—————	—————	
Молибденит		—————		
Минералы Висмута				—————
Шеелит		—————	—————	
Вольфрамит			—————	

Рис. 24. Схема-последовательность минералообразования на месторождении Верхние Кайракты

4. Петрохимическая характеристика пород

С целью уточнения распределения рудных компонентов и выявления геохимических связей элементов на вольфрамовом месторождении Верхние Кайракты автором был проведен корреляционный и факторный анализ в программе Statistica по результатам Рентгенофазового анализа (143 анализа).

Сперва, были рассчитаны общие значения среднего арифметического, медианы, моды, асимметрии, эксцесса, стандартных ошибок асимметрии и эксцессов для следующих переменных:

MgO, Al₂O₃, SiO₂, K₂O, CaO, TiO₂, MnO, Fe₂O₃, S, Zn, Rb, Sr, Zr, Nb, Ta, W.

По результатам описательных статистик, построений графиков квантиль - квантиль и гистограмм со всего массива данных было установлено, что, нормальному распределению отвечают следующие переменные: Al₂O₃, SiO₂, K₂O, Rb, Zr; а логнормальному: MgO, CaO, TiO₂, MnO, Fe₂O₃, S, Zn, Sr, Nb, Ta, W.

Элементы, отвечающие логнормальному закону распределения, были прологарифмированы.

Al₂O₃ образует значимые корреляционные связи с: K₂O(85), Rb(78), Zr(57), Ta(62);

K₂O образует значимые корреляционные связи с: Al₂O₃ (85), Rb (92), Zr (53), Ta (57);

Rb образует значимые корреляционные связи с: Al₂O₃ (78), K₂O (92), Zr (54), Ta (55), TiO₂ (45);

Sr образует значимые корреляционные связи с: CaO (42), MnO (39), W (42) Zn (39), менее значимые: TiO₂ (25), Fe₂O₃ (20), менее значимые отрицательные: K₂O (28), S (26), Rb (24);

Nb образует значимые корреляционные связи с: Al₂O₃ (48), K₂O (48), TiO₂ (50), Zr (77), Ta (32);

Ta образует значимые корреляционные связи с: Al₂O₃ (62), K₂O (57), Rb (55); Nb (32);

W образует значимые корреляционные связи с: Sr (42), S (38), менее значимые: MgO (17), K₂O (30), CaO (21), Rb (24), менее значимые отрицательные: Fe₂O₃ (18), MnO (17).

Далее, автором были построены корреляционные графики для содержаний W - S, Ta – Nb с легендой пород. (рис.25, 26)

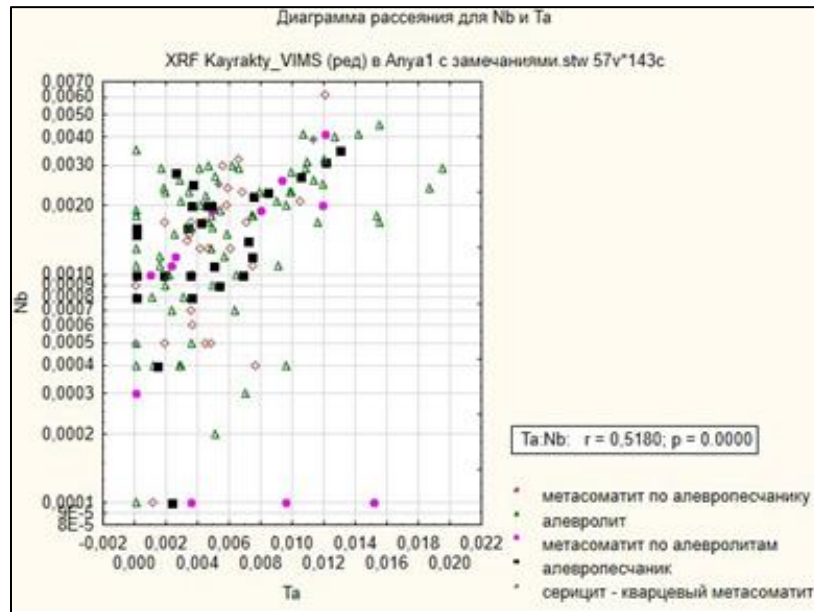


Рис 25. корреляционный график для содержаний Ta – Nb с легендой пород

Из графика Nb - Ta следует, что есть корреляционная связь, $r = 0.51$. Она характерна для серицит-кварцевых метасоматитов, а также для ряда алевропесчаников (отчетливо наблюдается при $Ta > 0.008$). Однако, эта связь достаточно слабо выражена.

Специфика образования шеелита, обуславливаемая его кристаллизацией, в нейтральных средах, определяет особые черты распределения в нём Nb и Ta, которые присутствуют в шеелите, однако, шеелит не является концентратором данных элементов. Данный факт можно наблюдать при анализе коэффициентов корреляции для Ta и Nb и W, а так же корреляционного графика Ta-Nb (рис.25).

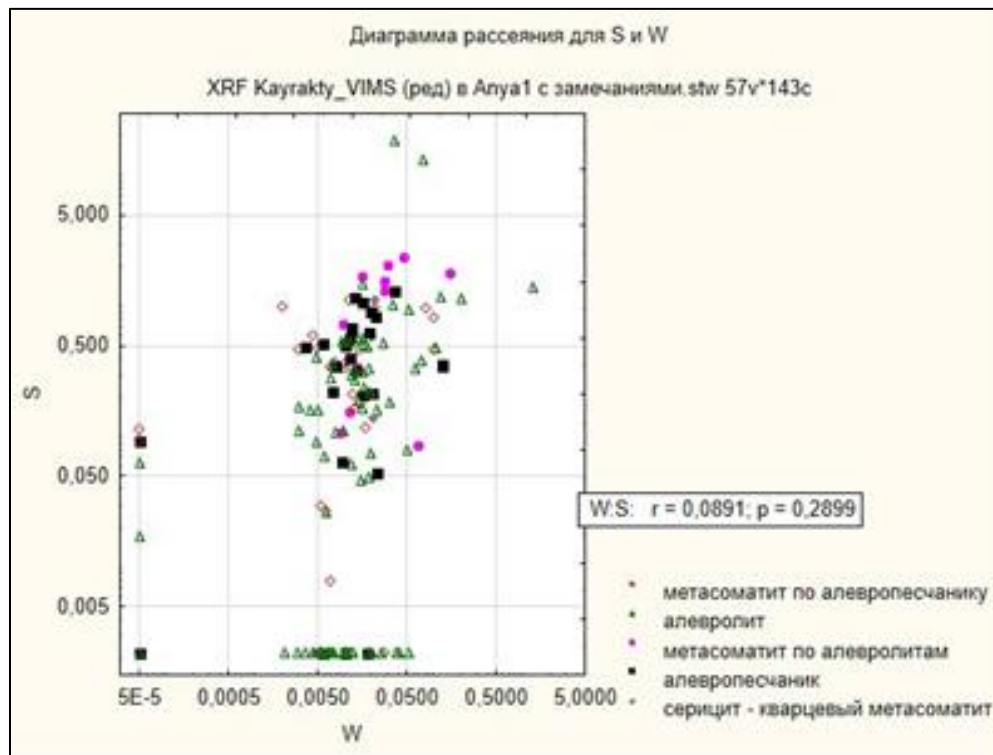


Рис 26. корреляционный график для содержаний S – W с легендой пород

Из графика S - W следует, что корреляционная связь довольно высокая, и составляет $r = 0.89$.

Исходя из чего, можно сделать вывод о том что, сера свидетельствует о наличии проявлений вольфрамового оруденения в разрезе скважины.

Для выявления и лучшего понимания структур корреляционных связей химических элементов, отбраковки ложных и наложенных корреляций был проведён факторный анализ методом главных компонент без вращения факторов (Табл. 3).

Переменная	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3	Фактор 4
LogMgO	0.432	0.082	0.268	-0.642
Al ₂ O ₃	0.839	-0.267	-0.168	0.128
SiO ₂	-0.021	-0.205	-0.065	-0.247
K ₂ O	0.804	-0.489	-0.03	-0.003
LogCaO	0.11	0.637	-0.27	-0.072
LogTiO ₂	0.677	0.078	0.141	0.239
LogMnO	0.456	0.619	-0.265	-0.199
LogFe ₂ O ₃	0.347	0.377	-0.644	-0.151
LogS	-0.146	0.486	-0.684	0.129
LogZn	0.468	0.684	0.020	-0.163
Rb	0.815	-0.396	-0.024	-0.042
LogSr	0.082	0.716	-0.045	0.466
Zr	0.808	0.043	0.078	0.006
LogNb	0.739	0.023	0.178	-0.089
LogTa	0.637	-0.159	0.090	0.506
LogW	0.058	-0.654	-0.243	-0.229

Табл. 3. Структура факторов №1-4

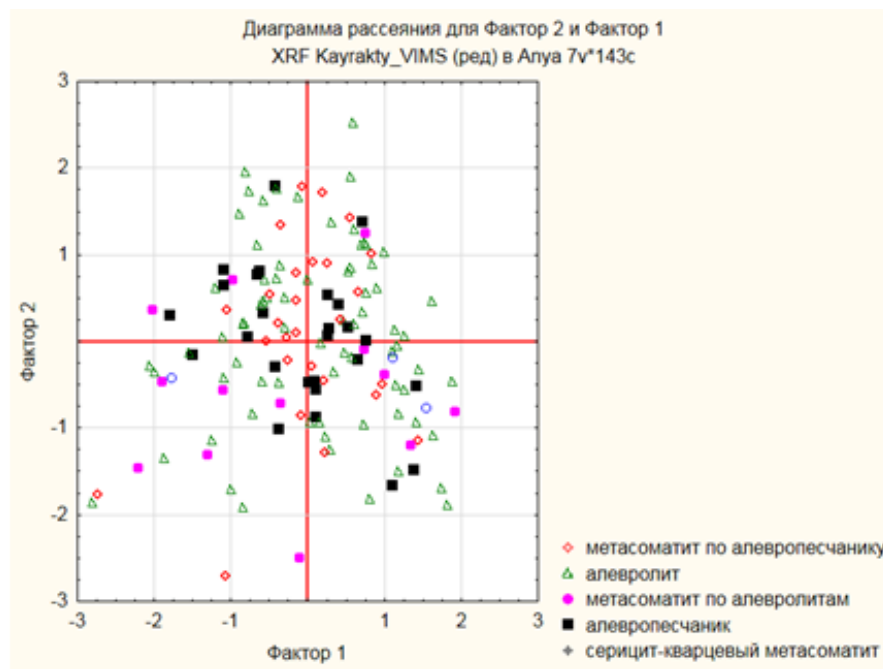


Рис 27. Диаграмма рассеяния для 1 и 2 факторов

Объем выборки равен 143. Число степеней свободы в таком случае равно 141. Уровень значимости при 0.05 для степени свободы равной 141 будет 0.17

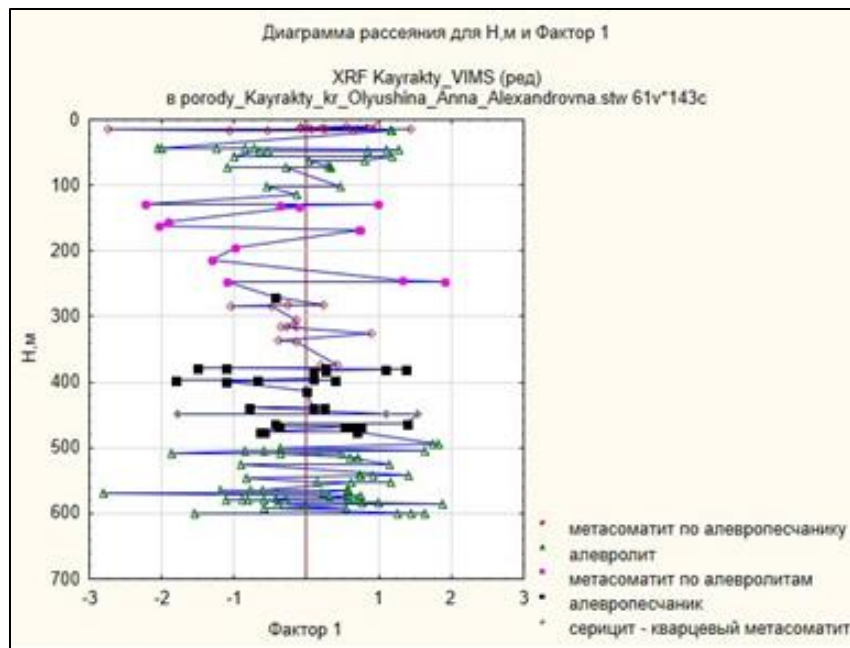


Рис 28. Диаграмма рассеяния для фактора №1

Фактор 1 отвечает за распределение по разрезу разных типов пород, т. к. примерно видно распределение значений каждой пород по одной стороне. В структуре фактора велика роль ассоциации: Al_2O_3 (83), K_2O (80), TiO_2 (67), Rb (81), Zr (80), Nb (73), Ta (63).

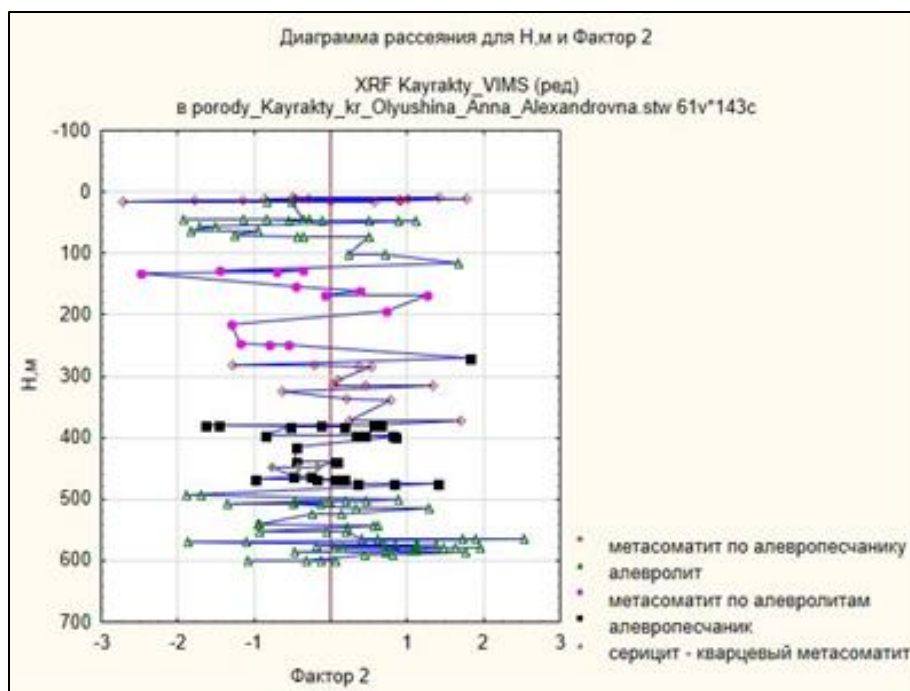


Рис 29. Диаграмма рассеяния для фактора №2

Фактор 2 определяет рудную минерализацию, в частности отрицательные значения отвечают за вольфрамовую минерализацию, которая отмечается в серицит-кварцевых метасоматитах и метасоматитах по алевролитам (на 2 интервалах разреза), что в целом неудивительно, так как данное месторождение относится к жильно-штокверковому типу, где вольфрамовое оруденение связано с вторично измененными породами.

В результате корреляционного и факторного анализа удалось выявить особенности химического состава пород, слагающих разрез геологоразведочной скважины 2А и выявили интервалы проявления вольфрамовой минерализации.

По диаграмме фактор 1 и фактор 2 можно наблюдать крупное облако точек, по которым довольно тяжело выделить группы пород коррелирующие между собой. Исходя из этого, довольно проблематично обособить рудные зоны – это связано с тем, что рудное тело представлено штокверком, который пронизан густой сетью кварцевых жил, содержащих вольфрамовое оруденение.

5. Типоморфизм слюд

Слюды – это важнейшие породообразующие минералы, которые существуют в широком интервале термодинамических условий и несут огромную петрогенетическую информацию.

Слюды - наиболее изоморфноёмкие минералы земной коры, поэтому в их типоморфизме первое место занимает химический состав:

а) Изоморфные замещения в тетраэдрическом слое, приводящие к образованию алюмосиликатных, силикатных (тетрасиликатных) и феррисиликатных слюд, отражают, прежде всего, геохимические условия минералообразующей среды - содержание (активность) и соотношение $Si/Al, Fe^{3+}$;

б) Изоморфизм катионов в октаэдрах и сопряжённые с ними замещения в тетраэдрах - индикаторы разнообразных генетических параметров (состава, глубины зарождения и степени дифференциации расплавов, тектонического положения, интенсивности и характера метасоматического преобразования гранитов; постмагматической истории пегматитов, щёлочности - кислотности, T, P, Eh;

в) Состав анионного окружения октаэдров – типоморфный признак состава, содержания летучих компонентов и тектонического режима. (Павлишин, 1980)

Ввиду многообразных изоморфных замещений содержание даже главных компонентов в слюдах из разных пород колеблется в очень широких пределах.

Диоктаэдрические слюды несут богатую информацию о постмагматических процессах и метаморфогенном минералообразовании.

На месторождении Верхние Кайракты, по результатам оптических исследований и сканирующей электронной микроскопии установлены следующие слюды:

1) Мусковит $(K_{0.524}Na_{0.024})_{0.548}(Al_{1.535}Fe^{2+}_{0.053}Mg_{0.201}Ti_{0.015})_{2.281}(Al_{0.643}Si_{3.357}O_{10})((OH)_{1.805}F_{0.195})_2$;

2) Биотит - $K_{0.611}(Mg_{1.607}, Fe_{0.486})_{2.093}(Si_{3.421}Al_{1.414}O_{10})((OH)_{1.516}F_{0.484})_2$;

3) Аллюмоселадонит - $K_{0.664}(Mg_{0.014} Fe_{0.005}Al_{1.339})_{1.358}[Si_{4.632}O_{10}](OH)_2$;

4) Флогопит - $\text{KMg}_3\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{F}, \text{OH})_2^*$;

Примечание: * - стехиометрическая формула

Мусковит

Химический состав мусковита обычно осложнён присутствием ряда изоморфных примесей, что обуславливает возникновение нескольких разновидностей.

На месторождении Верхние Кайракты установлены две разновидности мусковита:

1. Серицит – мелко-тонкочешуйчатая разновидность мусковита белого цвета (размер чешуек серицита составляет тысячные и сотые доли миллиметра);

2. Фенгит – твёрдый раствор состава $\text{K}(\text{Al}, \text{Mg})_2(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$, является промежуточным по составу между мусковитом и селадонитом, смесимость которых, по экспериментальным данным, ограничена и увеличивается с повышением давления и понижением температуры. (Буланов, Сизых, 2005)

С возрастанием степени метаморфизма в слюдах убывает содержание фенгитовой составляющей, и их состав приближается к теоретическому составу мусковита. Большая устойчивость фенгита в высокобарических условиях связана с тем, что он имеет более высокую плотность и более плоскую по сравнению с мусковитом решетку

С увеличением степени метаморфизма из мелких выделений серицита различной формы, размером в тысячные и сотые доли миллиметра, возникают более крупные чешуйки мусковита (без включений с упорядоченной структурой кристаллы мусковита с хорошо развитой формой выделения).

Химический состав мусковита практически постоянен, но соотношение Al:Si несколько колеблется: содержание составляет Si от 45.6 до 50.5 вес. %, Al – от 28.0 до 31.7 вес. %, K - от 9.07 до 10.67 вес. %, F – от 0.36 до 3.64 вес. %. Характерными примесями являются Mg (ср. 2.54 вес. %), Ti (ср. 0.29 вес.%), Na (ср. 0.27 вес. %), Fe (ср. 0.98 вес. %) (рис.31-34).

Определённый, с помощью сканирующего электронного микроскопа, химический состав мусковита примерно одинаков, а кристаллохимические формулы (табл. 4), рассчитанные по результатам этого анализа, принимают следующий вид:

Табл.4. Усреднённые кристаллохимические формулы мусковита

Глубина, м	Кристаллохимические формулы
14.0	$(\text{K}_{0.52}\text{Na}_{0.021})_{0.541}(\text{Al}_{1.515}\text{Fe}_{0.022}\text{Mg}_{0.201}\text{Ti}_{0.008})_{1.746}(\text{Al}_{0.679}\text{Si}_{3.321}\text{O}_{10})((\text{OH})_{1.747}\text{F}_{0.253})_{2.0}$
К-47.0	$(\text{K}_{0.524}\text{Na}_{0.046})_{0.57}(\text{Al}_{1.681}\text{Fe}_{0.085}\text{Mg}_{0.1}\text{Ti}_{0.034})_{1.9}(\text{Al}_{0.725}\text{Si}_{3.275}\text{O}_{10})((\text{OH})_{1.9}\text{F}_{0.1})_{2.0}$
132.4	$(\text{K}_{0.528}\text{Na}_{0.019})_{0.547}(\text{Al}_{1.573}\text{Fe}_{0.033}\text{Mg}_{0.171}\text{Ti}_{0.005})_{1.782}(\text{Al}_{0.659}\text{Si}_{3.341}\text{O}_{10})((\text{OH})_{1.783}\text{F}_{0.217})_{2.0}$
194.2	$(\text{K}_{0.513}\text{Na}_{0.013})_{0.526}(\text{Al}_{1.503}\text{Fe}_{0.108}\text{Mg}_{0.246}\text{Ti}_{0.019})_{1.876}(\text{Al}_{0.513}\text{Si}_{3.487}\text{O}_{10})((\text{OH})_{1.876}\text{F}_{0.124})_{2.0}$
281.6	$(\text{K}_{0.539}\text{Na}_{0.047})_{0.586}(\text{Al}_{1.842}\text{Fe}_{0.088}\text{Mg}_{0.103}\text{Ti}_{0.035})_{2.86}(\text{Al}_{0.632}\text{Si}_{3.368}\text{O}_{10})((\text{OH})_{1.897}\text{F}_{0.103})_{2.0}$
305.0	$(\text{K}_{0.536}\text{Na}_{0.027})_{0.563}(\text{Al}_{1.502}\text{Fe}_{0.057}\text{Mg}_{0.213}\text{Ti}_{0.006})_{1.778}(\text{Al}_{0.666}\text{Si}_{3.334}\text{O}_{10})((\text{OH})_{1.777}\text{F}_{0.223})_{2.0}$
378.9	$(\text{K}_{0.535}\text{Na}_{0.021})_{0.556}(\text{Al}_{1.5}\text{Fe}_{0.057}\text{Mg}_{0.227}\text{Ti}_{0.007})_{1.791}(\text{Al}_{0.635}\text{Si}_{3.365}\text{O}_{10})((\text{OH})_{1.845}\text{F}_{0.155})_{2.0}$
475.0	$(\text{K}_{0.51}\text{Na}_{0.019})_{0.529}(\text{Al}_{0.981}\text{Fe}_{0.116}\text{Mg}_{0.513}\text{Ti}_{0.024})_{1.634}(\text{Al}_{0.793}\text{Si}_{3.019}\text{O}_{10})((\text{OH})_{1.446}\text{F}_{0.554})_{2.0}$

С полной таблицей формульных коэффициентов можно ознакомиться в приложении №1, а полная таблица химического состава мусковита представлена в приложении №2.

В 4 таблице приведены усреднённые формулы с разных интервалов скважины. Усреднено: Для 14.0 м - 44, 47.0 м – 26, 132.4 м. – 29, 194.2 м. - 16, 281.6 м. - 16, 305 м. – 7, 378.9 – 19, и для 475.0 м – 12 анализов.

Средняя формула мусковита по месторождению (усреднена по данным 165 анализов) принимает следующий вид:



Все формулы мусковита рассчитаны стандартным методом на 22 единицы заряда, что соответствует $\text{O}_{10}(\text{OH}, \text{F})_2$.

Идиоморфный фенгит (рис. 30) на изучаемом характеризуется высоким содержанием Si (3.22–3.63 ф.е.) и нормальными содержаниями Al, Mg, Ti, Na (MgO 0.053 – 0.33 ф.е.; TiO_2 0.003 - 0.08 ф.е.; Na 0.011 - 0.046 ф.е., Al_2O_3 – 1.921-2.52 ф.е.).

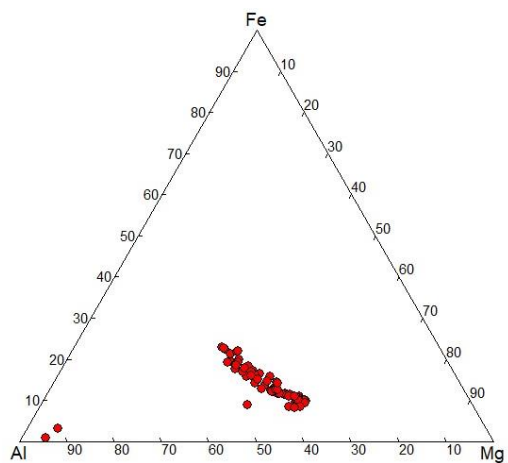


рис. 30. Содержание октаэдрических катионов Al – Mg - Fe в фенгите

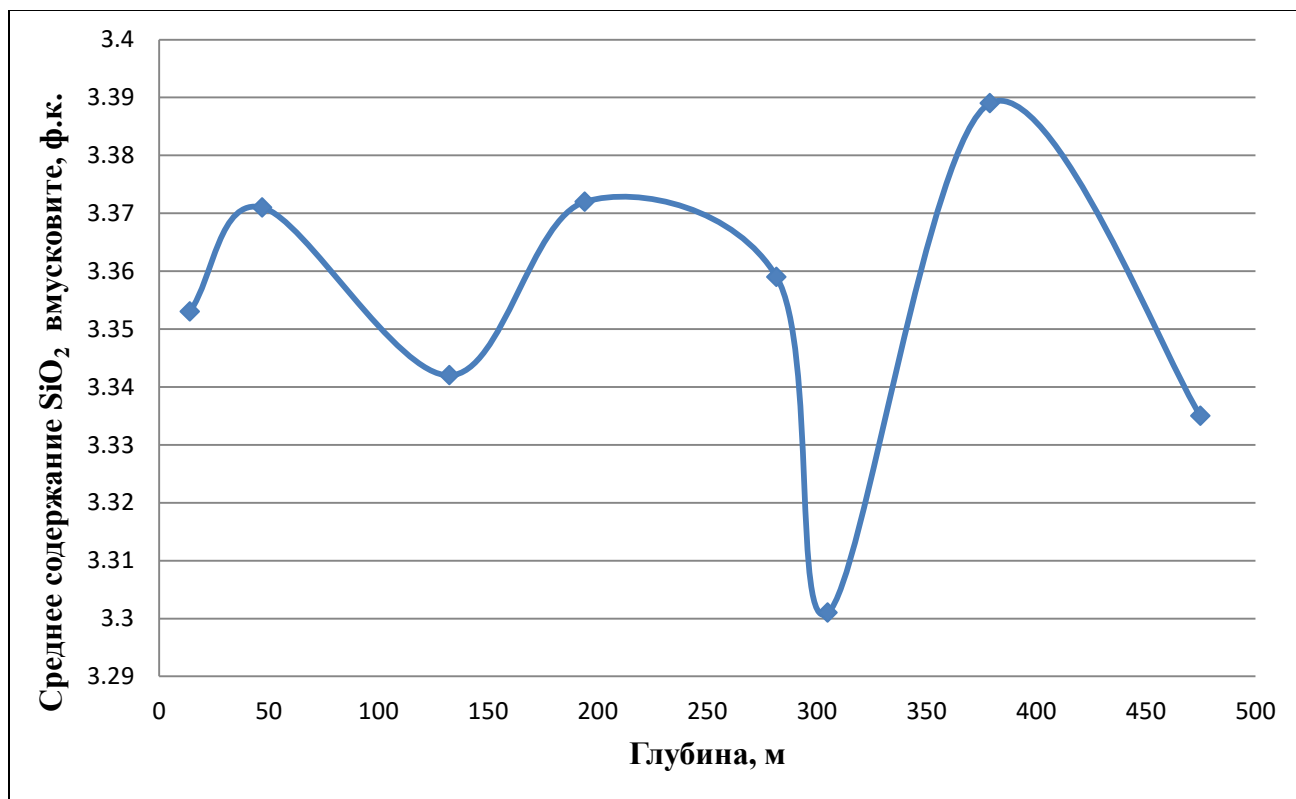


рис. 31. Изменение Si с глубиной в мусковите

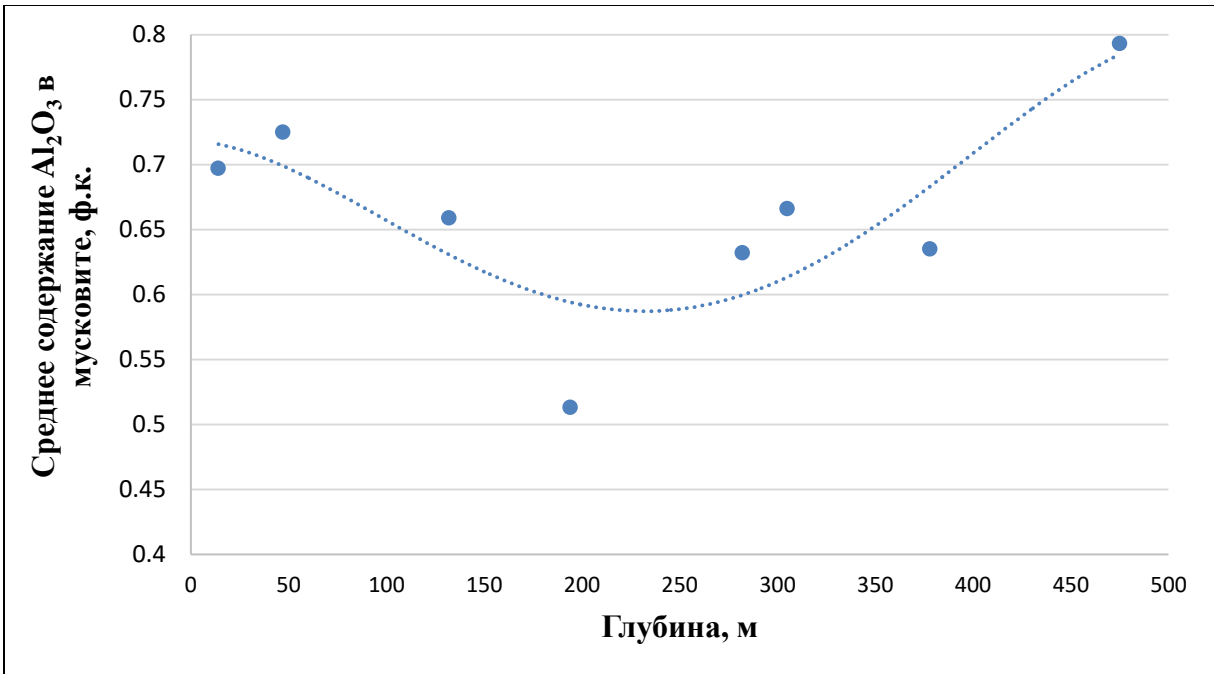


рис. 32. Изменение Al с глубиной в мусковите

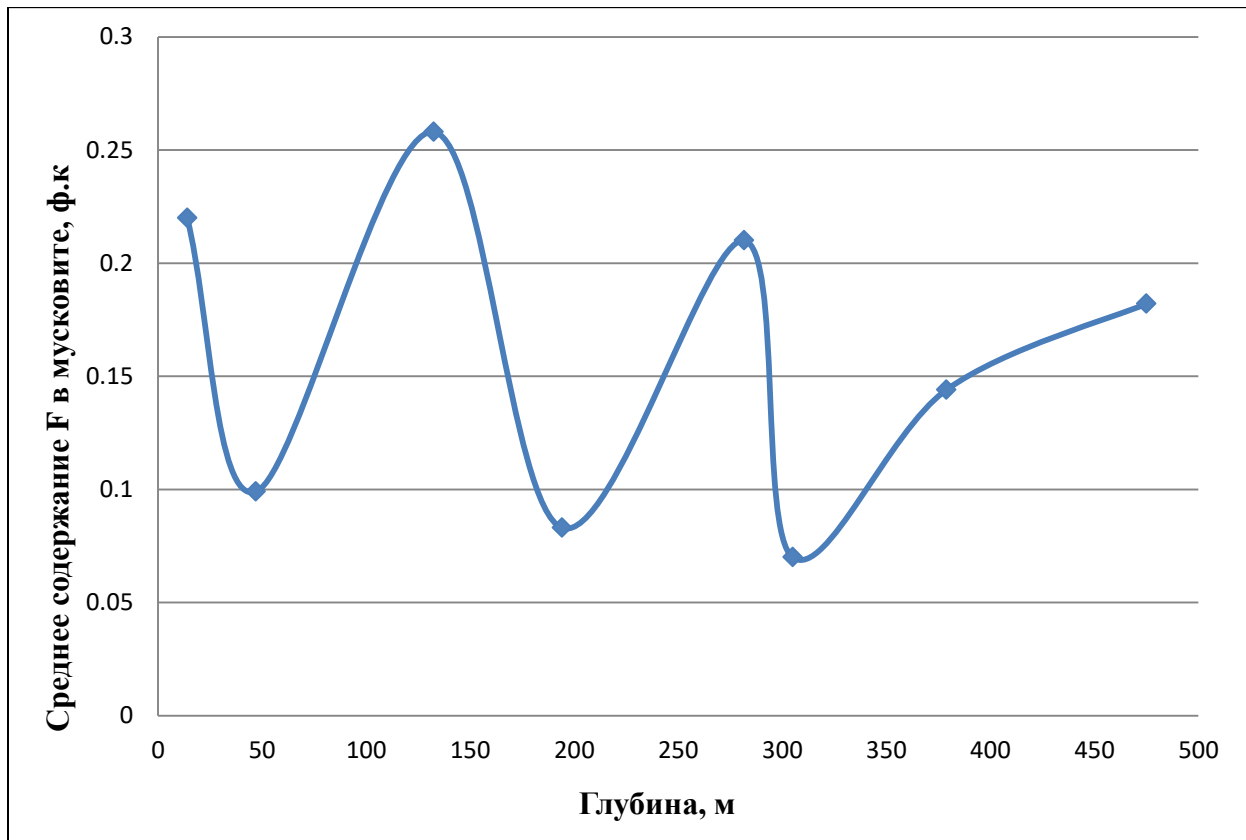


рис. 33. Изменение F с глубиной в мусковите

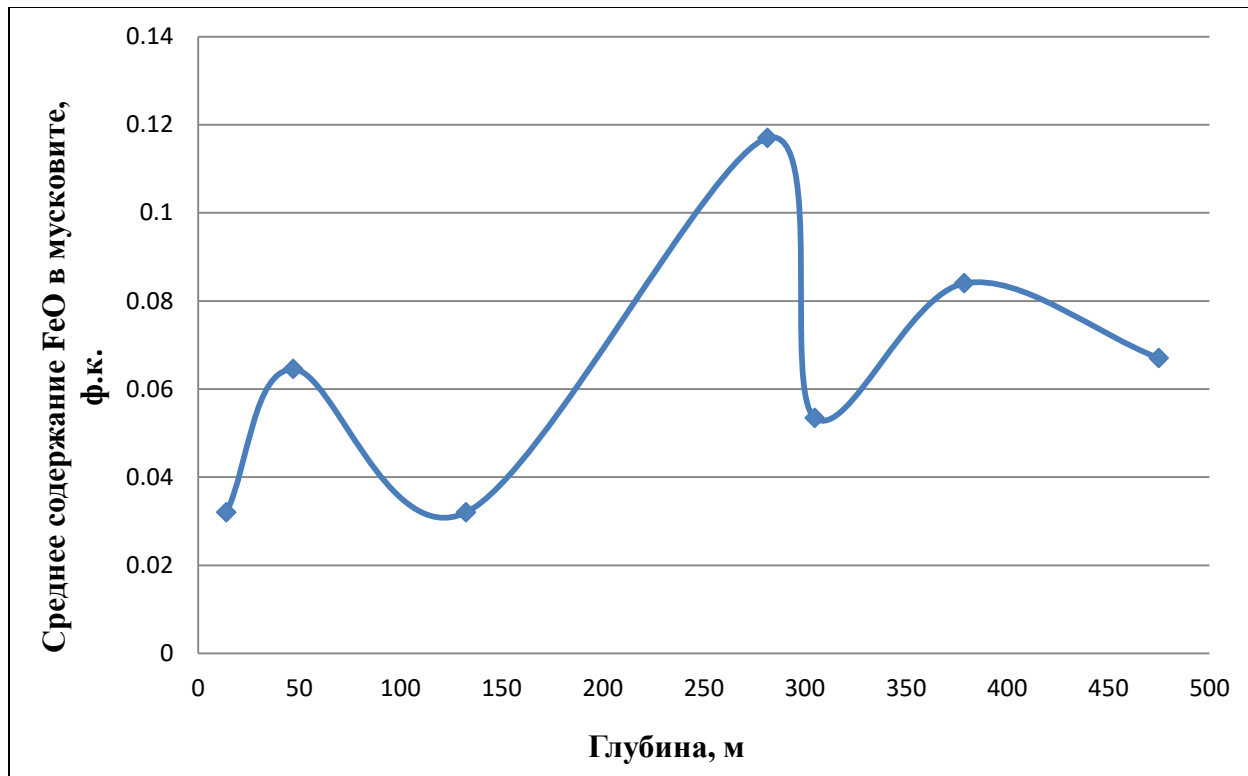


рис. 34. Изменение Fe с глубиной в мусковите

Из рисунков 30-34 можно наблюдать, что изменение основных компонентов (Al_2O_3 , FeO, F, SiO_2) в мусковитах месторождения Верхние Кайракты изменяется волнообразно.

Это может быть связано с волнообразным изменением кислотности постмагматического раствора на фоне постепенного снижения температуры.

К числу наиболее важных типоморфных особенностей мусковита относится соотношение Al:Si. (Рис. 35)

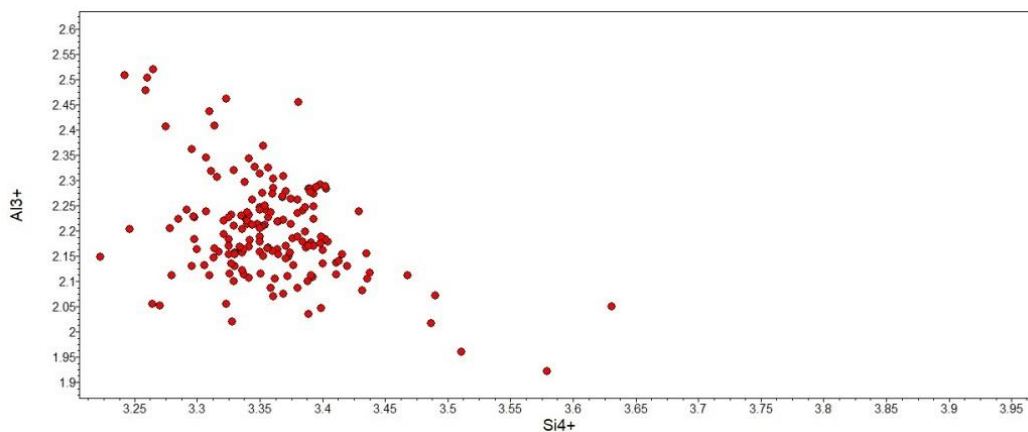


рис. 35. Соотношение Al:Si в мусковите (Ф.К.)

Данный показатель отвечает за степень метаморфизма. С повышением температуры, показатель Al:Si весьма ощутимо снижается. Поскольку состав мусковитов в отношении главных компонентов: Al, Si, Fe, Mg, F, Na- четко зависит от среды минералообразования, то подобные вариации состава могут быть использованы как индикаторные признаки для распознавания мусковитов различного генезиса

Биотит

Биотит на изучаемом месторождении является главным породообразующим минералом и встречается во всех интервалах скважины.

Минерал характеризуется довольно широким спектром содержания FeO (от 6.55 до 18. 21 вес. %) (рис. 35). И относительно постоянным составом остальных компонентов (SiO₂, Al₂O₃, TiO₂) (табл.5).

Табл. 5. Усреднённый химический состав (вес. %) биотита и формульные коэффициенты

Компонент	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	Na ₂ O	Mg ₂ O	K ₂ O	F	сумма
47	39.006	1.030	15.761	11.512	0.270	15.636	0.116	9.700	3.348	96.378
194.2	37.714	1.607	16.453	13.782	0.285	13.797	0.177	9.447	2.595	95.857
305.0	38.859	1.389	16.165	11.645	0.282	15.179	0.143	9.643	3.424	96.728
378.9	39.669	0.828	14.643	9.053	0.294	17.645	0.185	9.856	4.434	96.605
475.5	41.359	0.749	14.255	7.956	0.276	17.765	0.201	10.104	5.660	98.325
Формульные коэффициенты										
Компонент	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	Na ₂ O	Mg ₂ O	K ₂ O	F	
47	3.412	0.053	1.436	0.507	0.012	1.580	0.012	0.610	0.432	
194.2	3.349	0.084	1.523	0.620	0.013	1.411	0.019	0.604	0.337	
305.0	3.392	0.072	1.476	0.516	0.013	1.531	0.015	0.607	0.441	
378.9	3.450	0.042	1.326	0.396	0.013	1.773	0.020	0.616	0.570	
475.5	3.560	0.038	1.278	0.345	0.012	1.767	0.021	0.625	0.720	

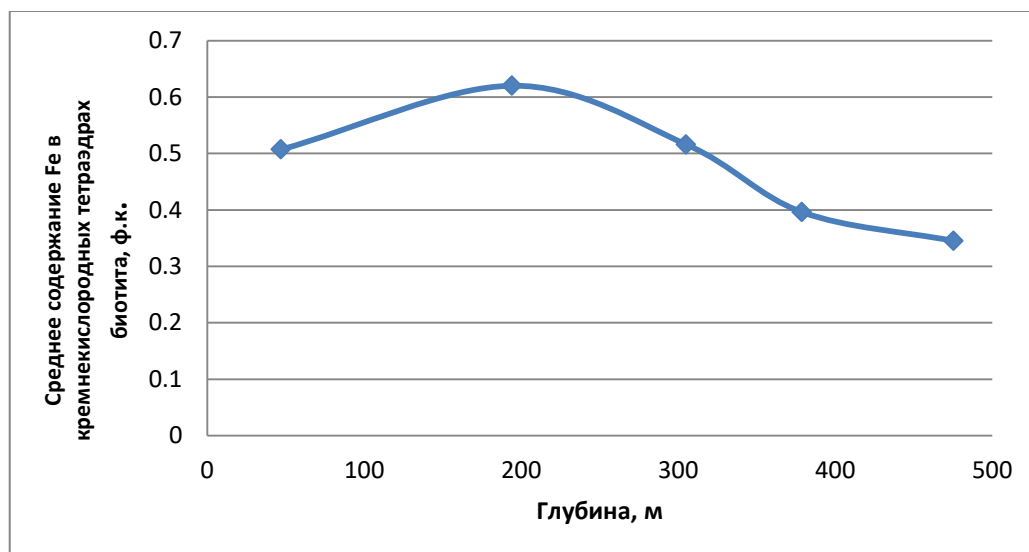


рис. 36. Изменение Fe с глубиной в биотите

На рисунке 36 прослеживается постепенное уменьшение содержания FeO в биотите с глубиной, что может быть связано с изменением условий метаморфизма.

Алюминоселадонит

Алюминоселадонит установлен преимущественно на глубоких горизонтах месторождения Верхние Кайракты.

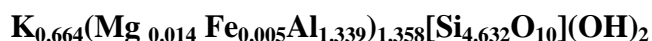
Минерал на изучаемом объекте характеризуется сильно повышенными содержаниями Al_2O_3 и SiO_2 (62.6 - 68.4 вес.%), и низким содержанием элементов-примесей (в незначительных количествах TiO_2 , FeO, MgO, F). (табл.5)

Табл. 5. Химический состав (вес. %), и формульные коэффициенты алюминоселадонита

Компонент	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	TiO ₂	FeO	MgO	F	Сумма
14	0.71	17.63	63.46	14.97		0.51			97.28
194.2	1.28	18.1	63.16	14.11					97.28
305	1.28	18.07	64.8	14.49					98.64
305	1.02	17.96	64.69	14.56					98.23
305	0.8	17.79	63.6	14.58	0.12	0.3	0.86		98.05
475.5	0.16	17.75	67.82	6.42	0.32	1.14	1.35	0.93	95.89
475.5	0.92	18.62	66.49	15.18					97.28
475.5	1.2	18.41	65.57	14.65					97.28
475.5	0.81	17.88	65.56	14.88					97.28
475.5	0.57	18.31	65.25	15.11					97.28
475.5	0.13	17.4	62.63	15.7					97.28

Формульные коэффициенты								
Компонент	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	TiO ₂	FeO	MgO	F
14	4,640		1,342	0,019		0,063	0,786	
194.2	4,621		1,379			0,114	0,742	
305	4,650		1,350			0,112	0,747	
305	4,655		1,345			0,090	0,753	
305	4,579	0,005	1,333	0,011	0,072	0,070	0,754	
475.5	4,522	0,013	1,232	0,038	0,104	0,013	0,307	0,092
475.5	4,646		1,354			0,079	0,762	
475.5	4,643		1,357			0,104	0,745	
475.5	4,673		1,327			0,071	0,762	
475.5	4,644		1,356			0,050	0,772	

Средняя кристаллохимическая формула алюмосиладонита приобретает следующий вид:



5.1. Методы идентификации слоистых силикатов

С целью изучения минерального состава метасоматитов был проведён анализ с применением портативного инфракрасного анализатора ASD TerraSpec – 68 проб (140 спектров);

Помимо этого, так же была проведён рентгенофлуоресцентный анализ с целью идентификации слоистых минералов и их количественный анализ – 11 проб.

Табл. 7. Корреляция по определению слюд по данным полнопрофильного анализа методом Ритвельда и инфракрасной спектроскопии

№ образца	РФА		ИКС	
	1	2	1	2
13.7	Флогопит	Кварц, Альбит	Флогопит	Fe-турмалин
373.4-1	Биотит	Мусковит, Кварц	Фенгит	-
373.4-2	Кварц	Биотит, альбит	Биотит	-
449.1	Фенгит	Кварц, Мусковит	Фенгит	Гипс
462.3-1	Мусковит	Фенгит	Фенгит	-
462.3-2	Мусковит	Фенгит	Фенгит	-
508.6	Мусковит	Флогопит	Мусковит	-
515-1	Кварц, Флогопит	Фенгит	Фенгит	Флогопит
515-2	Флогопит	Мусковит	Биотит	Мусковит
573.3-1	Флогопит	-	Биотит	Mg-хлорит
573.3-3	Флогопит	Мусковит	Биотит	Фенгит

На основании исследования представительной выборки образцов показана высокая степень надежной идентификации слюдистых минералов (мусковит, фенгит, флогопит) не только методом полнопрофильного анализа методом Ритвельда, но так же и методом инфракрасной спектроскопии, что подтверждает правильность диагностики слоистых минералов экспрессным полевым методом.

Выводы

На основании проделанной работы, можно сделать следующие заключения:

1. Геологическая характеристика района исследований осложнена, так как месторождение приурочено к зоне сочленения антиклинальных и синклиналильных структур, а вмещающие породы пространственно и генетически связаны с пермскими гранитами Акчатаукского комплекса.

2. Удалось определить около 16 минеральных видов, присутствующих во вмещающих породах месторождения, изучить их геохимические особенности, выявить некоторые генетические ассоциации, а так же установить различные генерации минералов.

3. В ходе работы удалось подробно описать последовательность минералообразования на изучаемом месторождении. Всего выделено 4 стадии: кварц-мусковитовая, сульфидная, вольфрамит-шеелитовая и флюорит-висмутовая.

4. По результатам микронзондового анализа автором было установлено, что у минералов группы висмута химический состав меняется следующим образом: от краев к центру агрегатов, самородный висмут находится в центре, а по краям наблюдаются образования висмутина, галеновисмутина, козалита и тетрадимита.

5. По данным корреляционного и факторного анализа в программе *statistica*, были выявлены особенности химического состава пород, слагающих разрез геологоразведочной скважины 2А, а так же установлены интервалы проявления вольфрамовой минерализации.

6. К числу наиболее важных типоморфных особенностей мусковита относится соотношение Si/Al^{IV} ; а так же содержания основных компонентов: Al_2O_3 , FeO , F , SiO_2 , FeO , K_2O , Na_2O , MgO .

7. На основании диагностики образцов показана высокая степень надежной идентификации слюдистых минералов не только методом рентгенофлуоресцентного анализа, но так же и относительно бюджетным и удобным в полевых условиях методом инфракрасной спектроскопии.

Список литературы

1. Белозёров А.А. Состав и морфология акцессорных минералов гранитных массивов Центрального Казахстана как отражение их рудоносности: дис. СПб, 2017. - 127 с.
2. Гинзбург А.И. Типоморфизм минералов / А.И. Гинзбург. — Москва: Недра, 1989. — 559 с.
3. Гусев А.И. Мантийно-коровое взаимодействие в формировании гигантских магмо-рудно-метасоматических систем // Материалы 14 международной конференции. - Петрозаводск: 2008. - С. 159-161.
4. Даутбеков Д. О. «Закономерности проявления эпитермального золото-серебряного оруденения в Жонгаро-Балхашском регионе и его перспективы» -диссертация, Алматы, 2018;
5. Исаева Л.Д. Моделирование процессов рудообразования на месторождении верхнее Кайракты (Центральный Казахстан) // Алматы: 2010. - С. 112-116.
6. Коробкин В.В., М.М. Буслов «Тектоника и геодинамика западной части центрально-азиатского складчатого пояса (палеозоиды Казахстана)» – Научный журнал «Геология и геофизика», 2011, т. 52, № 12, с. 2032—2055;
7. Мазуров А.К. Геодинамические обстановки формирования металлогенических комплексов Казахстана: автореф. дис. д-р. геол. наук: 25.00.11. - Томск, 2003. - 43 с.
8. МПР РФ/Государственный доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2020 году/РОСНЕДРА, ред. Е.И. Петров, 2021 – 269-282 с.
9. Негрей Е.В. – Петрология и верхнепалеозойских гранитов Центрального Казахстана; М., Наука, 1983 – 167 стр.
10. Павлишин В.И. Типоморфизм кварца, слюд и полевых шпатов в эндогенных образованиях / В.И. Павлишин. — Киев: Наукова Думка, 1983. — 232 с.
11. Пильдиш Е.И. Метасоматическая зональность Верхне-Кайрактинского месторождения: автореф. дис. канд. геол. наук: СПб, 1991. - 189 с.
12. План развития разработки редких и редкоземельных металлов в Республике Казахстан на 2015 - 2019 годы //Постановление Правительства Республики Казахстан от 26 ноября 2014 года № 1237.
13. Сейтмуратова Э.Ю. Поздний палеозой Джунгаро-Балхашской складчатой области (Казахстан) (стратиграфия, магматизм, история становления окраины континента в позднем палеозое) - Алматы, 2011. 278 с;

14. Щерба Г.Н. Формирование редкометальных месторождений Центрального Казахстана. Алма-Ата: Наука, 1960. 381 с. 3.

15. Mineralogy for the New Millennium. 18-th General Meeting of the Internal. Miner. Association. Edinburgh. 2002.

Фондовые источники:

1. Романов В.А. Геолого-технологическое картирование руд Верхнекайрактинского вольфрамового месторождения / В.А. Романов, Л.И. Лыков. — Караганда: г, 1990. — 307 с

Интернет-источники:

1. Разведка и добыча вольфрам-молибденовых руд месторождения Верхние Кайракты в Карагандинской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: tks.kz. – Дата доступа: 19.03.2022

Приложение 1.

Таблица формульных коэффициентов мусковита

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	3.335	3.31	3.296	3.355	3.335	3.364	3.298	3.339
TiO ₂	0.014	0.011	0.017	0.014	0.021	0.018	0.014	0.015
Al ₂ O ₃	2.164	2.112	2.13	2.241	2.23	2.163	2.183	2.222
FeO	0.078	0.023	0.025	0.034	0.043	0.037	0.036	0.021
MgO	0.192	0.24	0.217	0.176	0.178	0.204	0.206	0.182
Na ₂ O	0.021	0.031	0.025	0.027	0.023	0.018	0.025	0.021
K ₂ O	0.528	0.468	0.478	0.535	0.537	0.541	0.517	0.526
F	0.217	0.305	0.315	0.181	0.193	0.215	0.263	0.221
Компонент	9	10	11	12	13	14	15	16
SiO ₂	3.321	3.354	3.323	3.393	3.404	3.325	3.35	3.384
TiO ₂	0.007	0.011	0.012	0.012	0.011	0.016	0.011	0.014
Al ₂ O ₃	2.22	2.212	2.054	2.223	2.178	2.184	2.158	2.179
FeO	0.036	0.028	0.049	0.025	0.031	0.048	0.047	0.06
MgO	0.189	0.176	0.29	0.175	0.183	0.198	0.222	0.2
Na ₂ O	0.028	0.025	0.02	0.025	0.02	0.021	0.028	0.023
K ₂ O	0.515	0.505	0.495	0.526	0.513	0.52	0.525	0.521
F	0.227	0.218	0.272	0.171	0.193	0.23	0.211	0.162
Компонент	17	18	19	20	21	22	23	24
SiO ₂	3.307	3.352	3.3	3.353	3.34	3.35	3.34	3.391
TiO ₂	0.011	0.012	0.014	0.025	0.013	0.009	0.017	0.012
Al ₂ O ₃	2.238	2.208	2.163	2.15	2.213	2.189	2.22	2.177
FeO	0.043	0.04	0.047	0.038	0.024	0.026	0.021	0.03
MgO	0.188	0.197	0.25	0.212	0.194	0.201	0.189	0.203
Na ₂ O	0.022	0.025	0.026	0.021	0.019	0.024	0.024	0.02
K ₂ O	0.523	0.528	0.519	0.531	0.524	0.513	0.523	0.521
F	0.212	0.191	0.226	0.222	0.217	0.225	0.213	0.187
Компонент	25	26	27	28	29	30	31	32
SiO ₂	3.371	3.341	3.386	3.36	3.4	3.357	3.33	3.365
TiO ₂	0.016	0.006	0.011	0.012	0.011	0.009	0.01	0.015
Al ₂ O ₃	2.17	2.168	2.198	2.16	2.162	2.166	2.13	2.218
FeO	0.039	0.031	0.035	0.043	0.027	0.03	0.018	0.031
MgO	0.204	0.213	0.193	0.219	0.2	0.207	0.219	0.178
Na ₂ O	0.025	0.023	0.017	0.014	0.03	0.022	0.028	0.029
K ₂ O	0.531	0.517	0.529	0.52	0.521	0.524	0.507	0.516
F	0.2	0.242	0.177	0.207	0.199	0.231	0.293	0.193
Компонент	33	34	35	36	37	38	39	40
SiO ₂	3.292	3.387	3.393	3.321	3.349	3.348	3.438	3.336
TiO ₂	0.013	0.013	0.019	0.008	0.01	0.004	0	0.015
Al ₂ O ₃	2.242	2.166	2.17	2.194	2.212	2.213	2.117	2.203
FeO	0.034	0.028	0.048	0.022	0.025	0.015	0	0.036
MgO	0.185	0.193	0.188	0.201	0.188	0.192	0.209	0.192
Na ₂ O	0.031	0.02	0.02	0.021	0.02	0.026	0.016	0.029
K ₂ O	0.519	0.516	0.507	0.52	0.504	0.515	0.489	0.515
F	0.234	0.212	0.181	0.253	0.217	0.228	0.236	0.218
Компонент	41	42	43	44	45	46	47	48

SiO ₂	3.411	3.402	3.371	3.389	3.389	3.398	3.368	3.361
TiO ₂	0	0.007	0.009	0.008	0.023	0.015	0.02	0.036
Al ₂ O ₃	2.137	2.184	2.17	2.034	2.284	2.292	2.267	2.285
FeO	0	0.022	0.029	0.037	0.084	0.062	0.069	0.071
MgO	0.209	0.2	0.207	0.26	0.15	0.147	0.164	0.148
Na ₂ O	0.018	0.023	0.022	0.022	0.023	0.028	0.02	0.022
K ₂ O	0.496	0.521	0.515	0.513	0.557	0.522	0.53	0.553
F	0.242	0.185	0.215	0.271	0.07	0.087	0.112	0.099
Компонент	49	50	51	52	53	54	55	56
SiO ₂	3.346	3.352	3.39	3.329	3.28	3.395	3.369	3.36
TiO ₂	0.041	0.013	0.02	0.019	0.003	0.008	0.08	0.047
Al ₂ O ₃	2.326	2.275	2.283	2.32	2.111	2.287	2.221	2.274
FeO	0.075	0.05	0.066	0.048	0.11	0.03	0.085	0.075
MgO	0.135	0.19	0.172	0.158	0.333	0.162	0.158	0.154
Na ₂ O	0.028	0.037	0.032	0.031	0.021	0.032	0.029	0.017
K ₂ O	0.538	0.543	0.547	0.529	0.526	0.53	0.538	0.546
F	0.078	0.121	0.069	0.126	0.163	0.119	0.088	0.09
Компонент	57	58	59	60	61	62	63	64
SiO ₂	3.393	3.338	3.38	3.361	3.369	3.403	3.39	3.375
TiO ₂	0.012	0.033	0.028	0.019	0.019	0.01	0.023	0.045
Al ₂ O ₃	2.273	2.297	2.262	2.304	2.308	2.284	2.277	2.263
FeO	0.039	0.073	0.079	0.091	0.039	0.032	0.078	0.09
MgO	0.181	0.153	0.156	0.143	0.171	0.171	0.168	0.149
Na ₂ O	0.031	0.029	0.026	0.026	0.035	0.035	0.02	0.02
K ₂ O	0.528	0.537	0.551	0.539	0.534	0.52	0.536	0.556
F	0.102	0.107	0.095	0.083	0.093	0.101	0.064	0.079
Компонент	65	66	67	68	69	70	71	72
SiO ₂	3.393	3.357	3.357	3.429	3.384	3.402	3.33	3.329
TiO ₂	0.03	0.015	0.022	0.013	0.021	0.01	0.022	0.011
Al ₂ O ₃	2.249	2.325	2.226	2.238	2.24	2.288	2.156	2.1
FeO	0.077	0.043	0.074	0.044	0.063	0.032	0.047	0.046
MgO	0.163	0.156	0.185	0.174	0.188	0.149	0.205	0.232
Na ₂ O	0.026	0.031	0.022	0.016	0.019	0.021	0.022	0.025
K ₂ O	0.542	0.547	0.535	0.536	0.539	0.52	0.536	0.533
F	0.087	0.104	0.136	0.102	0.104	0.119	0.24	0.282
Компонент	73	74	75	76	77	78	79	80
SiO ₂	3.327	3.285	3.327	3.337	3.296	3.298	3.297	3.325
TiO ₂	0.009	0.007	0.016	0.011	0	0.023	0.02	0.017
Al ₂ O ₃	2.231	2.223	2.135	2.113	2.362	2.227	2.228	2.154
FeO	0.028	0.02	0.042	0.048	0.035	0.045	0.03	0.043
MgO	0.173	0.182	0.212	0.223	0.12	0.184	0.159	0.208
Na ₂ O	0.027	0.016	0.032	0.021	0.031	0.026	0.031	0.022
K ₂ O	0.524	0.533	0.527	0.532	0.534	0.515	0.527	0.527
F	0.232	0.281	0.268	0.268	0.187	0.224	0.266	0.254
Компонент	81	82	83	84	85	86	87	88
SiO ₂	3.351	3.369	3.317	3.341	3.432	3.306	3.413	3.38
TiO ₂	0.024	0	0.01	0.012	0.003	0.01	0	0
Al ₂ O ₃	2.114	2.075	2.159	2.107	2.082	2.132	2.139	2.087
FeO	0.046	0.015	0.029	0.031	0.022	0.044	0.021	0.017

MgO	0.236	0.254	0.2	0.218	0.222	0.22	0.224	0.23
Na ₂ O	0.015	0.017	0.024	0.018	0.026	0.023	0.017	0.012
K ₂ O	0.529	0.522	0.514	0.508	0.515	0.522	0.538	0.516
F	0.229	0.287	0.285	0.291	0.239	0.288	0.203	0.285
Компонент	89	90	91	92	93	94	95	96
SiO ₂	3.326	3.373	3.336	3.314	3.313	3.371	3.392	3.341
TiO ₂	0.021	0.006	0.013	0.009	0.013	0.003	0.005	0.005
Al ₂ O ₃	2.114	2.149	2.121	2.165	2.147	2.145	2.108	2.232
FeO	0.042	0	0.037	0.042	0.054	0.014	0.016	0.033
MgO	0.233	0.213	0.217	0.203	0.218	0.204	0.222	0.171
Na ₂ O	0.022	0.014	0.02	0.025	0.027	0.015	0.025	0.019
K ₂ O	0.52	0.523	0.522	0.514	0.531	0.513	0.521	0.528
F	0.264	0.26	0.277	0.266	0.255	0.264	0.257	0.217
Компонент	97	98	99	100	101	102	103	104
SiO ₂	3.264	3.42	3.436	3.223	3.246	3.307	3.31	3.242
TiO ₂	0.012	0.004	0	0.047	0.043	0.028	0.023	0.011
Al ₂ O ₃	2.054	2.13	2.104	2.149	2.203	2.345	2.436	2.509
FeO	0.062	0.012	0.013	0.188	0.157	0.122	0.103	0.105
MgO	0.253	0.206	0.199	0.333	0.25	0.125	0.07	0.053
Na ₂ O	0.018	0.017	0.014	0.02	0.017	0.024	0.036	0.036
K ₂ O	0.513	0.512	0.494	0.452	0.532	0.542	0.557	0.53
F	0.355	0.228	0.248	0.06	0.101	0.074	0.058	0.08
Компонент	105	106	107	108	109	110	111	112
SiO ₂	3.35	3.278	3.314	3.353	3.341	3.316	3.468	3.631
TiO ₂	0.05	0.036	0.027	0.015	0.038	0.02	0.009	0.028
Al ₂ O ₃	2.314	2.205	2.408	2.368	2.344	2.307	2.112	2.05
FeO	0.102	0.187	0.081	0.088	0.074	0.08	0.09	0.102
MgO	0.126	0.206	0.109	0.105	0.127	0.163	0.197	0.112
Na ₂ O	0.029	0.035	0.04	0.024	0.029	0.027	0.011	0.022
K ₂ O	0.539	0.514	0.538	0.539	0.531	0.538	0.516	0.47
F	0.059	0.088	0.062	0.071	0.076	0.113	0.124	0.077
Компонент	113	114	115	116	117	118	119	120
SiO ₂	3.511	3.487	3.579	3.336	3.344	3.35	3.35	3.33
TiO ₂	0.013	0.019	0.022	0.016	0.015	0.013	0.012	0.013
Al ₂ O ₃	1.96	2.016	1.921	2.157	2.212	2.179	2.246	2.153
FeO	0.121	0.108	0.172	0.075	0.044	0.069	0.031	0.072
MgO	0.267	0.246	0.264	0.206	0.194	0.199	0.173	0.209
Na ₂ O	0.018	0.013	0.032	0.029	0.027	0.025	0.033	0.024
K ₂ O	0.506	0.513	0.438	0.551	0.534	0.537	0.537	0.537
F	0.129	0.124	0.043	0.21	0.192	0.189	0.187	0.223
Компонент	121	122	123	124	125	126	127	128
SiO ₂	3.376	3.361	3.328	3.38	3.337	3.334	3.372	3.4
TiO ₂	0.012	0.01	0.013	0.011	0.011	0.006	0.011	0.014
Al ₂ O ₃	2.185	2.069	2.019	2.189	2.164	2.168	2.11	2.135
FeO	0.033	0.045	0.091	0.028	0.065	0.057	0.072	0.038
MgO	0.199	0.261	0.307	0.196	0.197	0.213	0.248	0.21
Na ₂ O	0.029	0.023	0.021	0.025	0.03	0.027	0.027	0.023
K ₂ O	0.535	0.536	0.532	0.53	0.531	0.536	0.531	0.535
F	0.195	0.252	0.242	0.196	0.226	0.223	0.187	0.203

Компонент	129	130	131	132	133	134	135	136
SiO ₂	3.377	3.391	3.388	3.265	3.259	3.323	3.26	3.275
TiO ₂	0.013	0.007	0.008	0.033	0.057	0.058	0.028	0.034
Al ₂ O ₃	2.132	2.112	2.1	2.52	2.478	2.462	2.503	2.406
FeO	0.065	0.033	0.037	0.085	0.09	0.089	0.092	0.085
MgO	0.222	0.231	0.23	0.057	0.061	0.068	0.057	0.1
Na ₂ O	0.026	0.035	0.02	0.041	0.041	0.029	0.04	0.046
K ₂ O	0.536	0.511	0.528	0.531	0.522	0.539	0.524	0.524
F	0.191	0.226	0.236	0.039	0.055	0	0.06	0.1
Компонент	137	138	139	140	141	142	143	144
SiO ₂	3.359	3.371	3.35	3.38	3.359	3.356	3.375	3.368
TiO ₂	0.051	0.007	0.026	0.023	0.011	0.014	0.026	0.019
Al ₂ O ₃	2.236	2.278	2.241	2.235	2.086	2.165	2.213	2.268
FeO	0.102	0.047	0.076	0.079	0.069	0.081	0.07	0.049
MgO	0.151	0.158	0.169	0.179	0.275	0.23	0.181	0.141
Na ₂ O	0.031	0.027	0.024	0.023	0.023	0.015	0.022	0.028
K ₂ O	0.533	0.547	0.547	0.56	0.537	0.537	0.544	0.53
F	0.102	0.139	0.138	0.104	0.2	0.155	0.136	0.156
Компонент	145	146	147	148	149	150	151	152
SiO ₂	3.381	3.398	3.386	3.399	3.399	3.389	3.362	3.365
TiO ₂	0.003	0.027	0.004	0	0.015	0.013	0.017	0.007
Al ₂ O ₃	2.455	2.175	2.247	2.046	2.188	2.17	2.104	2.153
FeO	0.04	0.084	0.066	0.096	0.08	0.046	0.08	0.092
MgO	0.074	0.19	0.177	0.293	0.196	0.203	0.247	0.227
Na ₂ O	0.019	0.018	0.033	0.013	0.021	0.027	0.03	0.021
K ₂ O	0.533	0.543	0.542	0.528	0.53	0.532	0.522	0.535
F	0.046	0.126	0.119	0.165	0.122	0.179	0.19	0.155
Компонент	153	154	155	156	157	158	159	160
SiO ₂	3.416	3.49	3.411	3.435	3.27	3.329	3.325	3.35
TiO ₂	0.013	0.01	0.008	0.009	0.022	0.011	0.025	0.013
Al ₂ O ₃	2.154	2.071	2.113	2.155	2.052	2.21	2.17	2.205
FeO	0.066	0.045	0.044	0.051	0.088	0.093	0.089	0.055
MgO	0.215	0.251	0.228	0.201	0.292	0.165	0.184	0.191
Na ₂ O	0.026	0.021	0.016	0.023	0.026	0.028	0.03	0.029
K ₂ O	0.536	0.524	0.538	0.529	0.507	0.533	0.536	0.532
F	0.136	0.133	0.196	0.149	0.277	0.191	0.206	0.186
Компонент	161	162	163	164	165			
SiO ₂	3.364	3.34	3.342	3.354	3.325			
TiO ₂	0.026	0.021	0.02	0.017	0.018			
Al ₂ O ₃	2.219	2.236	2.181	2.25	2.227			
FeO	0.073	0.065	0.074	0.065	0.074			
MgO	0.174	0.169	0.186	0.158	0.183			
Na ₂ O	0.028	0.029	0.023	0.028	0.024			
K ₂ O	0.546	0.537	0.536	0.543	0.534			
F	0.144	0.17	0.196	0.157	0.173			

Приложение 2
Химический состав мусковита (Вес.%)

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	45.56	46.09	46.33	46.35	46.67	46.77	46.84	46.91
TiO ₂	0.33	0.26	0.4	0.33	0.5	0.43	0.33	0.35
Al ₂ O ₃	28.4	28.25	28.77	29.74	29.98	28.89	29.78	29.99
FeO	2.12	0.64	0.7	0.94	1.19	1.03	1.03	0.6
MgO	2.27	2.89	2.64	2.1	2.16	2.45	2.53	2.21
Na ₂ O	0.24	0.35	0.29	0.31	0.26	0.21	0.29	0.24
K ₂ O	10.05	9.07	9.35	10.29	10.47	10.47	10.22	10.28
F	2.01	2.87	3	1.69	1.83	2.02	2.53	2.1
Сумма	90.98	90.42	91.48	91.75	93.06	92.27	93.55	92.68
Компонент	9	10	11	12	13	14	15	16
SiO ₂	47.01	47.03	47.13	47.18	47.39	47.52	47.54	47.63
TiO ₂	0.16	0.27	0.28	0.29	0.26	0.38	0.26	0.34
Al ₂ O ₃	30.19	29.79	27.99	29.7	29.13	29.98	29.42	29.46
FeO	1.01	0.79	1.37	0.68	0.85	1.36	1.34	1.69
MgO	2.32	2.14	3.56	2.11	2.21	2.45	2.73	2.44
Na ₂ O	0.32	0.29	0.23	0.29	0.23	0.25	0.32	0.26
K ₂ O	10.15	9.86	9.77	10.18	9.95	10.34	10.38	10.2
F	2.17	2.07	2.61	1.61	1.82	2.22	2.03	1.54
Сумма	93.33	92.24	92.94	92.04	91.84	94.5	94.02	93.56
Компонент	17	18	19	20	21	22	23	24
SiO ₂	47.65	47.78	47.82	47.82	47.85	47.9	47.93	47.97
TiO ₂	0.27	0.28	0.35	0.61	0.32	0.22	0.42	0.3
Al ₂ O ₃	30.97	30.24	30.12	29.46	30.46	30.07	30.6	29.59
FeO	1.24	1.14	1.35	1.08	0.67	0.73	0.59	0.85
MgO	2.35	2.43	3.13	2.62	2.4	2.49	2.35	2.48
Na ₂ O	0.26	0.29	0.31	0.24	0.22	0.28	0.28	0.23
K ₂ O	10.49	10.48	10.48	10.54	10.46	10.21	10.45	10.27
F	2.07	1.84	2.22	2.14	2.1	2.18	2.07	1.79
Сумма	95.3	94.48	95.78	94.51	94.48	94.08	94.69	93.48
Компонент	25	26	27	28	29	30	31	32
SiO ₂	47.98	48.06	48.09	48.11	48.14	48.36	48.38	48.47
TiO ₂	0.38	0.14	0.27	0.29	0.26	0.21	0.25	0.38
Al ₂ O ₃	29.67	29.96	30	29.71	29.41	29.97	29.73	30.7
FeO	1.1	0.88	0.99	1.22	0.76	0.87	0.52	0.88
MgO	2.51	2.65	2.37	2.71	2.45	2.58	2.75	2.22
Na ₂ O	0.29	0.27	0.2	0.16	0.35	0.26	0.33	0.34
K ₂ O	10.53	10.36	10.46	10.36	10.26	10.51	10.26	10.34
F	1.93	2.35	1.7	2.01	1.91	2.25	2.88	1.88
Сумма	94.39	94.67	94.08	94.57	93.54	95.01	95.1	95.21
Компонент	33	34	35	36	37	38	39	40
SiO ₂	48.52	48.56	48.68	48.81	48.88	48.9	48.94	48.98
TiO ₂	0.33	0.32	0.46	0.21	0.24	0.11	0	0.37

Al ₂ O ₃	31.74	29.84	29.92	30.98	31.02	31.05	28.95	31.07
FeO	1.01	0.81	1.38	0.64	0.72	0.45	0	1.05
MgO	2.36	2.39	2.34	2.56	2.37	2.43	2.57	2.44
Na ₂ O	0.38	0.23	0.23	0.25	0.24	0.31	0.19	0.35
K ₂ O	10.64	10.3	10.13	10.64	10.24	10.47	9.69	10.53
F	2.33	2.06	1.76	2.51	2.14	2.25	2.27	2.17
Сумма	97.31	94.51	94.9	96.6	95.85	95.97	92.61	96.96
Компонент	41	42	43	44	45	46	47	48
SiO ₂	49.49	49.8	49.88	50.45	43.45	45	45.63	45.8
TiO ₂	0	0.18	0.23	0.2	0.51	0.33	0.46	0.84
Al ₂ O ₃	29.79	30.71	30.84	29.09	28.13	29.16	29.51	29.91
FeO	0	0.65	0.84	1.1	2.15	1.62	1.85	1.93
MgO	2.63	2.53	2.65	3.35	1.66	1.69	1.92	1.75
Na ₂ O	0.21	0.27	0.27	0.27	0.24	0.3	0.22	0.24
K ₂ O	10.01	10.62	10.6	10.62	9.95	9.63	9.99	10.5
F	2.38	1.83	2.15	2.73	0.61	0.78	1.03	0.91
Сумма	94.51	96.59	97.46	97.81	86.7	88.51	90.61	91.88
Компонент	49	50	51	52	53	54	55	56
SiO ₂	45.94	45.96	45.97	46.02	46.15	46.54	46.62	46.65
TiO ₂	0.95	0.3	0.47	0.44	0.07	0.18	1.88	1.11
Al ₂ O ₃	30.68	29.97	29.74	30.81	28.53	30.12	29.53	30.33
FeO	2.05	1.37	1.79	1.31	3.09	0.82	2.34	2.08
MgO	1.61	2.25	2.02	1.89	4.05	1.92	1.89	1.85
Na ₂ O	0.31	0.41	0.35	0.35	0.24	0.36	0.33	0.19
K ₂ O	10.29	10.37	10.33	10.17	10.3	10.12	10.37	10.56
F	0.72	1.12	0.63	1.18	1.55	1.1	0.82	0.85
Сумма	92.55	91.75	91.3	92.17	93.98	91.16	93.78	93.62
Компонент	57	58	59	60	61	62	63	64
SiO ₂	46.67	46.76	46.76	46.81	46.9	46.93	47.16	47.17
TiO ₂	0.27	0.79	0.66	0.45	0.46	0.24	0.55	1.07
Al ₂ O ₃	30.03	30.91	30.06	30.82	30.87	30.26	30.44	30.38
FeO	1.08	2.02	2.17	2.51	1.07	0.87	2.16	2.49
MgO	2.15	1.85	1.87	1.72	2.06	2.04	2.02	1.8
Na ₂ O	0.35	0.33	0.3	0.3	0.4	0.4	0.23	0.23
K ₂ O	10.11	10.48	10.62	10.44	10.34	9.99	10.38	10.81
F	0.95	1.01	0.89	0.78	0.88	0.94	0.6	0.75
Сумма	91.61	94.15	93.33	93.83	92.98	91.67	93.54	94.7
Компонент	65	66	67	68	69	70	71	72
SiO ₂	47.2	47.21	47.45	47.49	47.72	47.98	45.01	46.1
TiO ₂	0.72	0.37	0.54	0.31	0.5	0.23	0.51	0.27
Al ₂ O ₃	30.06	31.41	30.22	29.78	30.35	31.01	27.99	27.93
FeO	2.13	1.2	2.07	1.22	1.78	0.89	1.26	1.26
MgO	1.96	1.9	2.26	2.08	2.3	1.82	2.4	2.78
Na ₂ O	0.3	0.36	0.26	0.18	0.22	0.24	0.24	0.28
K ₂ O	10.5	10.71	10.52	10.33	10.58	10.22	10.08	10.28
F	0.82	0.99	1.3	0.96	0.99	1.14	2.19	2.64
Сумма	93.69	94.15	94.62	92.35	94.44	93.53	89.68	91.54
Компонент	73	74	75	76	77	78	79	80
SiO ₂	46.68	46.89	47.15	47.31	47.32	47.38	47.56	47.57

TiO ₂	0.39	0.27	0	0.57	0.49	0.41	0.58	0
Al ₂ O ₃	28.78	28.52	32.46	30.69	30.71	29.48	28.83	28.14
FeO	1.16	1.34	0.99	1.28	0.85	1.21	1.3	0.43
MgO	2.57	2.71	1.48	2.28	1.98	2.56	2.9	3.1
Na ₂ O	0.37	0.24	0.36	0.31	0.37	0.26	0.18	0.2
K ₂ O	10.3	10.41	10.64	10.29	10.52	10.45	10.46	10.26
F	2.54	2.55	1.81	2.17	2.58	2.45	2.2	2.74
Сумма	92.79	92.93	94.89	94.9	94.82	94.2	94.01	92.44
Компонент	81	82	83	84	85	86	87	88
SiO ₂	47.83	47.87	47.92	47.96	47.97	47.98	48.37	48.38
TiO ₂	0.24	0.3	0.08	0.24	0	0	0.51	0.14
Al ₂ O ₃	29.9	29	27.93	29.72	28.88	28.46	29.54	29.61
FeO	0.83	0.87	0.6	1.27	0.58	0.49	1.21	0
MgO	2.5	2.7	2.68	2.76	2.72	2.83	2.93	2.64
Na ₂ O	0.28	0.21	0.3	0.27	0.19	0.14	0.26	0.16
K ₂ O	10.31	10.13	10.01	10.55	10.53	10.19	10.53	10.44
F	2.78	2.82	2.26	2.83	1.93	2.74	2.6	2.52
Сумма	94.67	93.9	91.78	95.6	92.8	92.83	95.95	93.89
Компонент	89	90	91	92	93	94	95	96
SiO ₂	48.51	48.8	48.92	48.97	48.98	49.11	49.54	49.92
TiO ₂	0.31	0.22	0.33	0.07	0.13	0.13	0.31	0.09
Al ₂ O ₃	29.62	30.63	30.46	29.94	29.24	31.51	29.95	29.87
FeO	1.07	1.24	1.6	0.41	0.47	0.97	1.87	0.34
MgO	2.73	2.59	2.78	2.56	2.77	2.18	3.32	2.6
Na ₂ O	0.24	0.3	0.33	0.18	0.3	0.23	0.22	0.2
K ₂ O	10.57	10.54	10.92	10.37	10.47	10.81	10.83	10.41
F	2.72	2.65	2.55	2.59	2.51	2.16	3.64	2.25
Сумма	95.77	96.97	97.89	95.09	94.87	97.1	99.68	95.68
Компонент	97	98	99	100	101	102	103	104
SiO ₂	50.57	43.03	43.74	44.73	45.07	45.62	45.64	46.38
TiO ₂	0	1.07	0.98	0.65	0.53	0.27	1.15	0.88
Al ₂ O ₃	29.75	27.57	28.52	30.47	31.87	33.92	30.29	29.97
FeO	0.37	4.99	4.21	3.27	2.79	2.93	2.75	5.27
MgO	2.53	3.85	2.92	1.46	0.83	0.64	1.48	2.52
Na ₂ O	0.17	0.22	0.19	0.27	0.4	0.42	0.32	0.4
K ₂ O	10.13	8.4	9.98	10.2	10.56	10.38	10.23	10.12
F	2.47	0.54	0.92	0.68	0.53	0.76	0.54	0.84
Сумма	95.99	89.67	91.46	91.73	92.58	94.94	92.4	96.38
Компонент	105	106	107	108	109	110	111	112
SiO ₂	46.86	47.01	47.25	47.38	48.06	49.47	50.66	51.04
TiO ₂	0.65	0.36	0.91	0.49	0.22	0.65	0.31	0.48
Al ₂ O ₃	32.71	31.89	31.85	31.67	28.12	26.83	27.17	28.34
FeO	2.27	2.46	2.08	2.28	2.47	2.77	3.46	3.15
MgO	1.33	1.28	1.56	2.02	2.36	1.32	3.34	3.11
Na ₂ O	0.46	0.27	0.33	0.31	0.13	0.24	0.21	0.16
K ₂ O	10.59	10.52	10.45	10.7	9.95	8.91	10.17	10.46
F	0.59	0.67	0.73	1.09	1.16	0.71	1.26	1.23
Сумма	95.46	94.46	95.16	95.94	92.47	90.9	96.58	97.97
Компонент	113	114	115	116	117	118	119	120

SiO ₂	51.29	44.81	45.32	45.5	45.76	46.56	46.81	47.25
TiO ₂	0.53	0.36	0.34	0.31	0.29	0.3	0.28	0.25
Al ₂ O ₃	26.44	27.83	28.8	28.44	29.48	28.92	29.1	27.94
FeO	4.89	2.01	1.18	1.87	0.85	1.99	0.92	1.27
MgO	3.27	2.39	2.28	2.34	2.05	2.53	2.39	3.18
Na ₂ O	0.37	0.32	0.3	0.28	0.37	0.28	0.33	0.26
K ₂ O	8.73	10.3	10.07	10.15	10.21	10.45	10.33	10.49
F	0.42	1.91	1.76	1.74	1.73	2.11	1.83	2.4
Сумма	95.94	89.93	90.05	90.63	90.74	93.14	91.99	93.04
Компонент	121	122	123	124	125	126	127	128
SiO ₂	47.82	48.1	48.14	48.16	48.37	48.69	48.83	49.17
TiO ₂	0.27	0.28	0.14	0.26	0.35	0.32	0.16	0.2
Al ₂ O ₃	29.75	29.96	30.07	28.95	29.18	29.53	29.22	29.28
FeO	0.79	1.86	1.64	2.05	1.07	1.87	0.95	1.08
MgO	2.4	2.46	2.66	3.07	2.58	2.77	2.88	2.89
Na ₂ O	0.29	0.35	0.32	0.31	0.27	0.31	0.41	0.24
K ₂ O	10.44	10.66	10.77	10.56	10.6	10.75	10.25	10.67
F	1.88	2.2	2.18	1.81	1.95	1.86	2.2	2.32
Сумма	93.64	95.87	95.92	95.17	94.37	96.1	94.9	95.85
Компонент	129	130	131	132	133	134	135	136
SiO ₂	44.29	45.15	45.29	45.65	46.32	46.63	48.42	45.26
TiO ₂	0.77	1.34	1.35	0.66	0.81	1.2	0.17	0.6
Al ₂ O ₃	32.83	32.99	32.23	33.68	32.68	29.82	31.43	29.09
FeO	2.3	2.47	2.41	2.57	2.4	2.81	1.35	2.04
MgO	0.67	0.73	0.8	0.69	1.22	1.81	1.96	1.98
Na ₂ O	0.46	0.46	0.32	0.46	0.53	0.35	0.32	0.27
K ₂ O	10.02	10.06	10.23	10.22	10.32	10.31	10.93	10.29
F	0.36	0.52	0	0.57	0.96	0.96	1.35	1.26
Сумма	91.7	93.72	92.63	94.5	95.24	93.89	95.93	90.79
Компонент	137	138	139	140	141	142	143	144
SiO ₂	45.74	46.25	46.96	47.08	47.32	47.36	47.7	48.19
TiO ₂	0.54	0.26	0.33	0.61	0.45	0.07	0.64	0.1
Al ₂ O ₃	29.05	27.59	29.1	29.66	30.61	33.04	29.33	30.73
FeO	2.12	1.89	2.25	1.93	1.36	1.11	2.34	1.87
MgO	2.1	3.28	2.78	2.19	1.71	0.9	2.31	2.18
Na ₂ O	0.26	0.26	0.17	0.25	0.32	0.22	0.21	0.38
K ₂ O	10.55	10.29	10.47	10.57	10.37	10.4	10.61	10.74
F	0.95	1.86	1.47	1.28	1.48	0.44	1.2	1.15
Сумма	91.31	91.68	93.53	93.57	93.62	93.54	94.34	95.34
Компонент	145	146	147	148	149	150	151	152
SiO ₂	48.23	48.26	48.35	48.57	48.7	48.96	49.11	49.36
TiO ₂	0	0.37	0.32	0.41	0.18	0.31	0.23	0.19
Al ₂ O ₃	27.89	29.85	29.74	29.2	29.93	29.66	28	29.38
FeO	2.72	2.26	1.31	2.31	2.66	1.87	1.25	1.28
MgO	3.6	2.41	2.51	3.09	2.84	2.67	3.06	2.85
Na ₂ O	0.15	0.24	0.31	0.35	0.25	0.3	0.24	0.19
K ₂ O	10.42	10.48	10.57	10.49	10.78	10.69	10.27	10.83
F	1.58	1.17	1.73	1.86	1.52	1.32	1.27	1.92
Сумма	94.59	95.04	94.84	96.28	96.86	95.78	93.43	96

Компонент	153	154	155	156	157	158	159	160
SiO ₂	49.59	44.03	44.84	46.51	46.96	47.05	47.15	47.34
TiO ₂	0.23	0.51	0.26	0.6	0.31	0.63	0.51	0.49
Al ₂ O ₃	29.89	26.54	28.6	29.16	29.7	29.82	30.32	29.68
FeO	1.45	2.36	2.5	2.47	1.54	2.03	1.82	2.09
MgO	2.51	3.4	1.92	2.23	2.32	2.11	2.06	2.28
Na ₂ O	0.27	0.29	0.31	0.34	0.33	0.32	0.33	0.27
K ₂ O	10.64	9.5	9.99	10.43	10.38	10.63	10.55	10.56
F	1.46	2.52	1.74	1.95	1.76	1.36	1.62	1.88
Сумма	96.04	89.15	90.16	93.69	93.3	93.95	94.36	94.59
Компонент	161	162	163	164	165			
SiO ₂	47.64	47.8	47.92	48.31	49.07			
TiO ₂	0.41	0.44	0.72	0.5	0.49			
Al ₂ O ₃	30.7	30.75	31.13	32.5	30.14			
FeO	1.83	2.11	1.68	0.85	1.22			
MgO	1.94	2.28	1.98	2.03	2.75			
Na ₂ O	0.33	0.28	0.4	0.46	0.27			
K ₂ O	10.73	10.69	10.68	10.6	10.73			
F	1.51	1.68	1.42	1.59	1.85			
Сумма	95.09	96.03	95.93	96.84	96.52			