

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)
Геолого-географический факультет
Кафедра петрографии

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ В ГЭК
Руководитель ООП
канд. геол-минерал. наук, доцент
_____ И.В. Вологодина
« _____ » _____ 2020 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА
ПЕТРОЛОГИЯ ПОРОД ЮЖНОСАКУНСКОГО ЩЕЛОЧНОГО МАССИВА
(ЗАБАЙКАЛЬСКИЙ КРАЙ)

по основной образовательной программе подготовки бакалавров

направление подготовки 05.03.01 – Геология

Дегтярёв Денис Евгеньевич

Руководитель ВКР
канд. геол-минерал. наук, доцент
_____ И.Ф. Гертнер
« _____ » _____ 2020 г.

Автор работы
студент группы № 02602
_____ Д.Е. Дегтярёв

РЕФЕРАТ

УДК 552.331

ПЕТРОЛОГИЯ ПОРОД ЮЖНОСАКУНСКОГО ЩЕЛОЧНОГО МАССИВА

(Забайкальский край): ВКР бакалавра/ Д.Е. Дегтярёв. – 33с., 15 ил., 5 табл., 14 источников.

Объект исследования – породы Южносакунского щелочного массива

Цель работы – выявление характерных петрологических особенностей пород Южносакунского щелочного массива. В процессе исследования проведено петрографическое, петрохимическое и геохимическое исследование 6 образцов: определен их минералогический состав, структурно-текстурные особенности, характер вторичных преобразований, проанализирован химический состав, а также исследованы петрологические и геохимические особенности формирования Южносакунского массива.

Ключевые слова: Южносакунский, сыннырит, псевдолейцитовый сиенит, фельдшпатоид, псевдолейцит, либнерит, либнеритизация.

СОДЕРЖАНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ ПРИНЯТЫХ В РАБОТЕ	4
ВВЕДЕНИЕ	5
1. Геологическое строение района исследований	6
1.1. Стратиграфия	7
1.2. Магматизм	9
1.3. Тектоника.....	11
СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ	13
2. Петрографическое описание пород исследуемого массива	13
3. Петрохимическая характеристика пород массива	22
4. Геохимическая характеристика пород массива.....	26
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	31
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	32

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ ПРИНЯТЫХ В РАБОТЕ

Ad - адуляризация

Aeg – эгирин

Andr – андрадит

Bt – биотит

IAB – базальты островных дуг

MORB – базальты срединно-океанических хребтов

Ne – нефелин

OIB – внутриплитные базальты

Pl - плагиоклаз

Kfs – калиевый полевой шпат.

Syrm – симплектитовый агрегат

Tit – титанит (сфен)

ВВЕДЕНИЕ

Данная выпускная квалификационная работа посвящена петрографической, петрохимической и геохимической характеристике пород Южносакунского щелочного массива. Работа написана по материалам, собранным за время прохождения производственной практики.

Целью работы является закрепление теоретических знаний по диагностике оптических свойств минералов и методов петрохимического и геохимического анализов на примере конкретного геологического объекта. В качестве основных задач проведенных исследований явилось: определение и обоснование минерального состава, отнесение к конкретной петрографической разновидности, выяснение структурно-текстурных особенностей горных пород, а также выявление закономерностей изменения поведения петрогенных, редкоземельных и редких элементов в процессе кристаллизации пород Южносакунского щелочного массива. Для этого необходимо было изучить и описать геологическое строение массива, провести диагностику и полное описание оптических свойств породообразующих минералов и типизацию исследуемых пород на основе изучения прозрачных шлифов в поляризационном микроскопе, а также проинтерпретировать результаты петрохимических и геохимических анализов.

1. Геологическое строение района исследований

Южносакунский массив - составная часть Сакунского щелочно-гранитоидного плутона. Он расположен в северо-восточной части Удоканского хребта, в верховьях рек Саку, Читканда и Хани, в зоне сочленения Чарского выступа с Удоканским авлакогеном, в пределах Витимо-Олекминского мегаблока. Интрузия приурочена к границе двух сложно построенных и неоднородных по составу и строению докембрийских структурноформационных блоков - Удоканского и Намингско - Чарского. Она локализуется внутри Удоканского блока в Верхне - Читкандинской тектонической зоне.

Массив представляет собой сохранившуюся часть кольцевой (возможно, штокообразной) интрузии, северная половина которой разрушена внедрением поздних граносиенитов и эродирована. Диаметр интрузии 6 км. На современном уровне среза обнаженная часть составляет 9 – 10 км². Полукольцевое строение интрузии устанавливается по изменению простираания первично-магматических текстур течения: на западном фланге - от северного и северо-западного до широтного, в центре - до северо-восточного, на восточном фланге - вновь северного. Судя по устойчивым азимутам падения пород к центру предполагаемого кольца, интрузия имеет коническое или воронкообразное глубинное строение. Углы наклона от 45 до 80°. По периферии кольца она на 10-15° положе, чем во внутренней части, находящейся на более высоких гипсометрических отметках. Это указывает на глубокий размыв массива и, в частности, на полное уничтожение эрозией приповерхностной, обычно пологозалегающей части структуры. Общая протяженность интрузии 8,5 км при максимальной ширине (2300-2400 м) в центральной части и минимальной (до 250 м) - на флангах.

Массив на юге контактирует с осадочно-метаморфическими и гранитогнейсовыми толщами докембрия и отчасти с гранитоидами ингамакитского комплекса, оказывая на них щелочно-метасоматическое и активное механическое воздействие. В различных местах экзоконтакта наблюдаются случаи подворота линейных структур и приспособление элементов залегания слоистости алевропесчаника и полосчатости гнейсов к внешнему контуру и структуре массива. На севере калиевые породы ограничены телом граносиенитов более молодого возраста. Плоскость контакта по результатам редких замеров уходит под щелочную интрузию с углом наклона 70-80° [1,2, 13, 14].

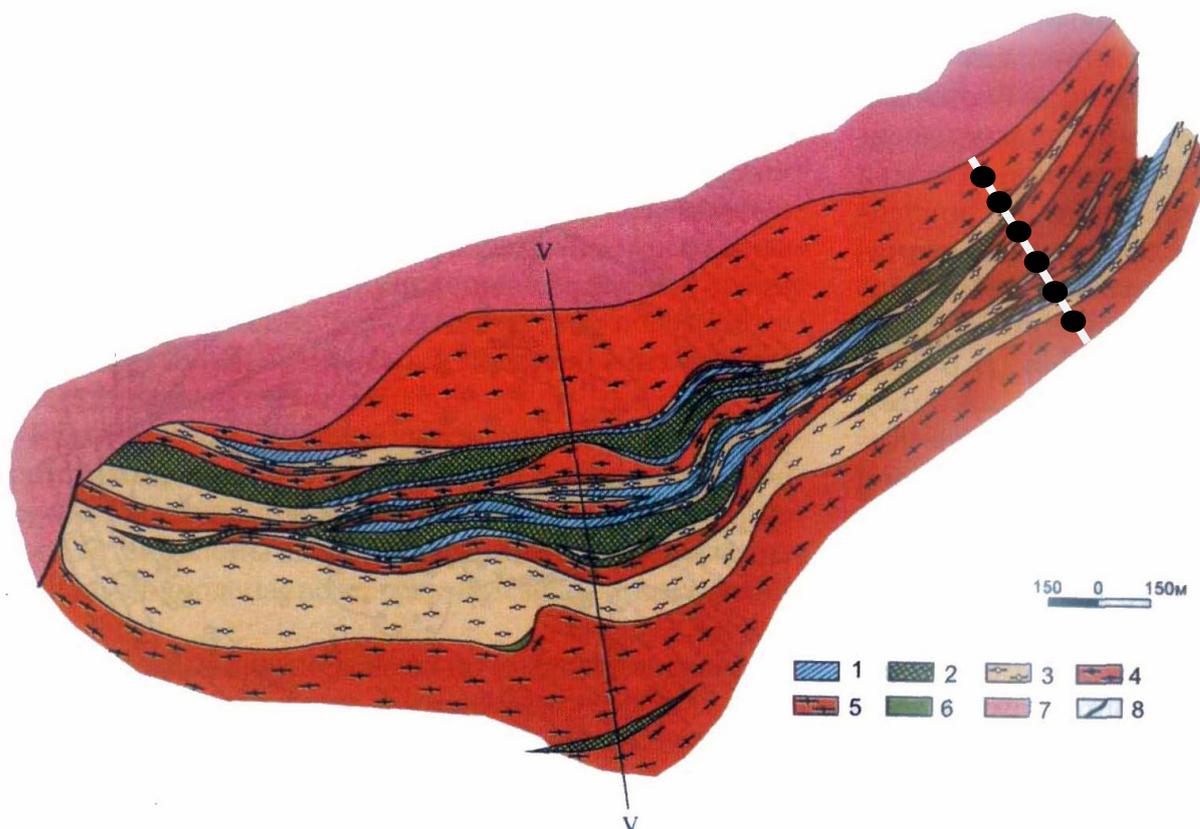


Рисунок 1 – Схематическая геологическая карта масштаба 1:15 000 1 – Калишпатовые сынныриты с содержанием K_2O 16 – 17%; 2 – сынныриты с содержанием $K_2O > 17\%$; 3 – 4 – псевдолейцит-нефелиновые сиениты; 5 – пуласкиты; 6 – раннепротерозойские пироксениты; 7 – позднепалеозойские граносиениты; 8 – разрывы, ● - точки отбора проб на линии горной выработки

1.1. Стратиграфия

В строении данного участка участвуют геологические образования архея, протерозоя и четвертичных отложений.

Стратиграфическая схема

Архейская эонотема (Ar)

Калаханская свита (Ar kl)

Протерозойская эонотема (PR)

Нижний протерозой (PR₁)

Акуинская свита (PR₁ ak)

Джялтуктинская свита (PR₁ dt)

Фанерозойская эонотема (FN)

Кайнозойская эратема (KZ)

Четвертичная система (Q)

Калаханская свита (Ar kl)

Породы калаханской свиты развиты по бортам долины ключа Туманного и на прилегающих к его устью участках долины р. Саку, В долине кл. Туманного они имеют субширотное простирание, колеблющиеся от 330° до 30° с углами падения 15-45° и образуют моноклиналичную толщу. Севернее в долине р. Саку складчатость в них усложняется и простирание полосчатости приближается к меридиональному.

В разрезе калаханской свиты преобладают биотитовые гнейсы. Подчиненное значение имеют биотитовые и биотит-амфиболовые сланцы, амфиболиты.

Архейские ультраметаморфические образования представлены метабластовыми гранитами и гранито-гнейсами.

Метабластовые граниты (mqA) распространены в южной части площади в правом борту ключа Туманного, где они образуют сплошное поле. Метабластовые граниты прорваны диоритами ингамакитского и сиенитами ханинского комплекса, перекрываются протерозойскими метаморфическими породами. Порода имеет светлую серовато-розовую окраску, очковую текстуру. Крупные округлые выделения сложены чаще всего микроклином, реже агрегатом кварца и микроклина. Основная масса мелко-, среднезернистая гранобластовая, гранолепидобластовая сложена на 50-60% микроклин-пертитом с неяркой решеткой, кварцем (30-35%), олигоклазом (5-15%), биотитом (до 50%). Акцессорные минералы редки и представлены единичными зернами циркона, магнетита, ортита, пирита. Из вторичных минералов иногда отмечаются серицит и хлорит.

Нижний протерозой (RP₁)

Протерозойские осадочно-метаморфические породы по Свешникову К.И. подразделены на акуинскую, джялтуктинскую свиты.

Акуинская свита (PR_{1ak})

Образования акуинской свиты встречены на 4-х разрозненных площадях; в правом борту ключа Туманного и по обоим бортам долины р. Саку.

Отложения акуинской свиты залегают на архейских породах с угловым и азимутальным несогласием, и образуют широкие относительно простые складки с углами наклона крыльев 10-45°. В юго-западной части площади акуинская свита перекрывается согласно залегающей джялтуктинской свитой.

В разрезе акуинской свиты преобладают биотито-кварцевые, биотито-амфиболо-кварцевые сланцы, метаморфизованные алевролиты с подчиненными прослоями кварцитов и карбонатных пород.

Джялтуктинская свита (PR_{1dt})

Джялтуктинская свита распространена в юго-западных частях площади в истоках ключей Туманного и Буйного, где образует полосу шириной 1-4 км северо-северо-восточного простирания. Падение пород монотонное на северо-запад под углом 35-40°.

Джялтуктинская свита сложена мелкозернистыми, тонкозернистыми метапесчаниками, алевролитами, кварцитовидными песчаниками, биотитовыми тонкозернистыми сланцами.

Фанерозойская эонотема (FN)

Кайнозойская эратема (KZ)

Четвертичная система (Q)

Отложения представлены ледниковыми и водно-ледниковыми отложениями [13].

1.2.Магматизм

Интрузивные породы пользуются очень широким распространением и слагают более 70% изученной площади.

Наиболее широко представлены палеозойские и мезозойские интрузии. В меньшей степени развиты протерозойские интрузии чуйско-кодарского комплекса. Ультраметаморфические образования архея описаны совместно с метаморфическими породами калаханской свиты, с которыми они тесно связаны.

Протерозойские интрузии – чуйско-кодарский комплекс

Интрузивные породы чуйско-кодарского комплекса представлены двумя небольшими субсогласными телами в породах акуинской свиты в долине р. Саку и жильной серией.

Субсогласные тела сложены мелкозернистыми гранитами первой фазы. Граниты лейкократовые биотитовые слабо гнейсовидные.

Вторая фаза чуйско-кодарского комплекса представлена дайками аплитовидных гранитов и пегматитов. Наибольшим распространением пользуются пегматиты.

Гранитные пегматиты образуют жильное поле охватывающее вершины ключей Туманного и Буйного. Наиболее мощная серия жил зафиксирована в верховьях ключа Пироксенитового. Серия жил имеет северо-восточное простирание и падение на СЗ под углами 15-35°, большей частью залегает субсогласно со сланцами акуинской свиты. Мощность жил от 0,4 до 2 м., расстояние между жилами в серии 10-80 м., протяженность наиболее выдержанных жил до 1 км и более. Жилы хорошо дешифрируются на аэрофотоснимках. Пегматиты сложены кварцем и белым, реже розоватым микроклином с примесью альбита, мусковита, биотита. Структура крупнозернистая, блоковая, распространены участки письменного гранита, встречается мелкозернистый

аплитовидный агрегат кварца и микроклина. Довольно часто в пегматитах отмечается шерл, образующий призматические кристаллы длиной до 10 см при диаметре до 1-1,5 см.

Из аксессуарных минералов отмечены магнетит, гематит, ортит. По результатам спектрального анализа литохимических проб в пегматитах отмечены невысокие содержания Li, Be, Nb, Ti, Zr, Y, Yb, Th, подтверждающие их бесперспективность с точки зрения редкометальной минерализации.

Верхнепалеозойские и мезозойские интрузии

Верхнепалеозойские и мезозойские интрузии, на площади поисковых работ слагают крупную трещинную интрузию известную, под названием Сакунской плутон.

Глуховским М.З., Сакунский плутон был отнесен к одноименному комплексу гранитоидной щелочной формации верхнепалеозойского возраста.

Свешниковым К.И. в Сакунском массиве выделены образования 2-х интрузивных комплексов – ингамакитского (PZ_3ig) и ханинского ($MZchn$).

Данные по возрастным взаимоотношениям пород, в основном, согласуются с данными Свешникова К.И. К современным представлениям о площадном распределении пород ханинского и ингамакитского комплексов получен возраст ингамакитского комплекса – 544-329 млн. лет, ханинского – 308-263 млн. лет и завершения гидротермальной деятельности связанной с ханинским комплексом – 122-176 млн. лет.

Ингамакитский комплекс

Интрузии ингамакитского комплекса представляют собой дискордантные штокообразные тела, в значительной степени уничтоженные внедрением мезозойских интрузий.

В составе ингамакитского комплекса выделяются 4 фазы:

- I. фаза – пироксениты, горнблендиты и меланогаббро ($\delta_1 PZ_3ig$);
- II. фаза – меланодиориты ($\delta_2 PZ_3ig$);
- III. фаза – кварцсодержащие диориты и сиенодиориты ($\varepsilon\delta_3 PZ_3ig$);
- IV. фаза – кварцевые и кварцсодержащие трахитоидные пироксеновые сиениты и граносиениты ($\varepsilon_4 PZ_3ig$).

Ханинский комплекс

Интрузивные породы ханинского комплекса занимают значительную часть междуречья р. Саку и кл. Туманного, образуя многофазную интрузию на площади 60 кв. м.

В ханинской интрузии отчетливо выделяются 4 фазы:

- I. фаза – дифференцированных калиевых щелочных и ультракалиевых пород ($\varepsilon_1 MZchn, \varepsilon\delta_1 MZchn$);

- II. фаза – недифференцированных существенно калиевых щелочных и фельдшпатоидных сиенитов (ϵ_2MZchn);
- III. фаза – «красных» щелочных микроклиновых лейкосиенитов (ϵ_3MZchn);
- IV. фаза – граносиенитов ($\gamma\epsilon_4MZchn$).

Каждая фаза сопровождается своей жильной серией и, кроме того, в качестве V фазы дополнительных интрузий могут быть выделены жильные породы, замыкающие становление массива, но не имеющие отчетливой связи с граносиенитами.

Образования каждой из выделенных фаз заметно отличаются по химизму, минералогическому составу и морфологии интрузивных тел [13,14].

1.3.Тектоника

Тектоническое строение участка определяется наличием 2-х структурных ярусов – архейского и протерозойского; верхнепалеозойских и мезозойских интрузий совместно с разрывной тектоникой.

Нижний структурный ярус сложен глубокометаморфизованными отложениями калаханской свиты и ультраметаморфическими образованиями. Как указывалось при описании геологического строения района, архейские структуры имеют субмеридиональное простирание, но на участке работ преобладает субширотное и северо-западное простирание. Отклонение простирания архейских структур от регионального обусловлено влиянием гнейсового купола.

Верхний структурный ярус сложен породами удоканской серии. В западной и юго-западной части площади протерозойские породы образуют моноклиналичную структуру субмеридионального простирания (ССВ) с падением крыльев 25-45°. При этом падение уменьшается в западном направлении. Эта моноклираль представляет собой крыло протоплатформенного Кодаро-Удоканского прогиба. Падение пород монотонное, изменение элементов залегания плавное. Около палеозойских и мезозойских интрузий отмечается заворот слоистости субпараллельно контакту.

В восточной и северо-восточной части площади протерозойские породы образуют три локальных участка (в долинах кл. Туманного и р. Саку они уничтожены эрозией). Эти три участка, по видимому, представляют реликт одной пологой купольной структуры с падением крыльев 10-30°. Степень метаморфизма в протерозойских породах растет сверху вниз по разрезу и в плане увеличивается к северо-востоку.

Внедрение интрузий палеозойского и мезозойского возраста связано с этапами активизации платформы в интервале 155-340 млн. лет, глубокими расколами и вертикальными перемещениями блоков. Для большинства интрузивных тел характерны

крутые субвертикальные контакты. Внедрение интрузий на складчатых структурах осадочно-метаморфических пород сказалось весьма локально.

Интрузия I фазы ханинского комплекса имеет четко выраженную воронкообразную форму. Слабо выраженное кольцевое (трубчатое) строение характерно для интрузий II и III фаз ханинского комплекса Северный шток.

Тектонические нарушения представлены разломами различного направления и возраста, контролирующими внедрениями интрузий даек и проявление зон метасоматоза [13,14].

СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

2. Петрографическое описание пород исследуемого массива

В данном разделе приводится петрографическое исследование пород (псевдолецитовых сиенитов, сиенитов типа пуласкит, сынныритов) Южносакунского щелочного массива, на примере 6 образцов отобранных из горных выработок (геологических канав). Образцы отбирались из наиболее свежих, не выветренных слоёв и из слоёв, в которых прослеживается петрографическое изменение состава пород.

Образец 35Т-1

Псевдолейцитовый сиенит

Макроскопически порода имеет серый цвет, четко выделяются на фоне серой основной массы кристаллы калиевого полевого шпата. Текстура однородная, массивная. Количественно-минералогический состав: псевдолейцит 40%, калиевый полевой шпат (микроклин) 30%, плагиоклаз 10%, биотит 10%, андрадит 5%, гематит <5%, нефелин <5% (рис 2).

Структура образца: крупно-среднезернистая, полнокристаллическая, гипидиоморфнозернистая, микропегматитовая, симплектитовая, пертитовая, пойкилитовая.

Калиевый полевой шпат. Имеет гипидиоморфную форму зёрен, размер которых достигает до 15 мм. Для зёрен отмечается пертитовая структура, с характерной микроклиновой решеткой. Зерна встречаются как самостоятельных кристаллах, так и в симплектитовых агрегатах. В зернах калиевого полевого шпата наблюдается ориентированные зёрна гематита, которые развивается по трещинам.

Псевдолейцит. Представлен симплектитовыми срастаниями кальсилит/нефелина и калиевого полевого шпата. Структура микропегматитовая. Цвета интерференции серые с анализатором, без анализатора близки к белым. Вторичные процессы развивающиеся по псевдолейцитовому агрегату – либнеритизация совместно с канкринитом.

Плагиоклаз. Имеет гипидиоморфную форму зёрен, характерны полисинтетические двойники. Зерна удлинённые до 5 мм, слабоориентированы. При одном николе зерна бесцветны, в скрещенных николях имеют серые цвета интерференции.

Биотит. Биотит представлен вытянутыми призматическими зернами, имеет характерный буроватый цвет, наблюдается спайность. Размер зёрен биотита 4-5 мм. Характерны срастания биотита и андрадита, также биотит встречается без сростков.

Андрадит. Для зерен андрадита характерна зональность (темный центр, светлый край). Размер зерен достигает 5мм. Зерна трещиноватые находятся в сростках с биотитом. При скрещенных николях цвет обычно черный, просвечиваются только края.

Гематит. Предположительно гематит развивается по трещинам в калиевом полево шпате, зёрна ориентированы в одном направлении, размер 1 мм и менее.

Нефелин. Характерна гипидиоморфная форма зёрен, цвета интерференции серые, частично зерна замещены цеолитами или гидрослюдой. Нефелин встречается в псевдолейцитовом, симплектитовом агрегате, совместно с зернами калиевого полевого шпата и кальсилита. Размер зерен до 2 мм.

Также в шлифе наблюдаются вторичные процессы, которые развиваются преимущественно по кальсилиту, нефелину и калиевому полево шпату. Вторичные процессы представлены либнеритом, канкринитом и цеолитами. Преимущественно либнерит и канкринит развивается по нефелину, кальсилиту в симплектитовом агрегате. Либнерит представлен мелкочешуйчатыми агрегатами, зелёного цвета, размер менее 1 мм. Канкринит широко развит, между зернами калиевого полевого шпата и нефелина, образует вытянутые кристаллы, с яркими цветами интерференции.

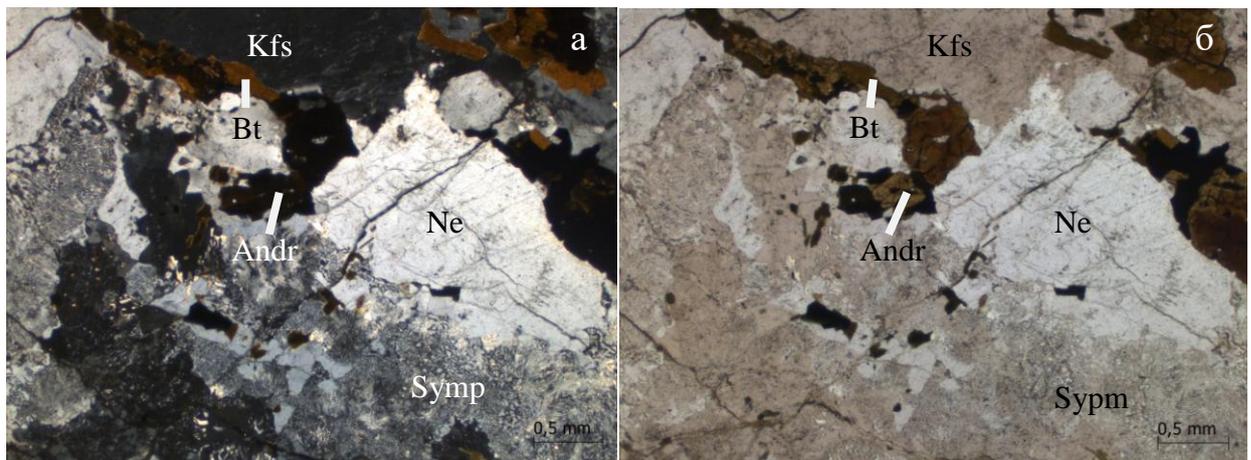


Рисунок 2 – Псевдолейцитовый сиенит *а* – с анализатором, *б* – без анализатора:

Примечание: Kfs – калиевый полево шпат, Ne – нефелин, Andr – андрадит, Symp – симплектитовые сростания калиевого полевого шпата и кальсилита (\pm нефелин), Bt – биотит.

Образец 35Т-2

Сыннырит

Макроскопически порода имеет серый цвет, 80% лейкократовых и 20% меланократовых минералов. Текстура однородная, массивная. Количественно-минералогический состав: псевдолейцит – 30%, калиевый полево шпат (микроклин) – 50%, нефелин – 10%, биотит – 5%, андрадит – 5% (рис. 3).

Структура образца: средне-мелкозернистая, полнокристаллическая, гипидиоморфнозернистая, симплектитовая (микропегматитовая), пертитовая, пойкилитовая.

Псевдолейцит. Агрегаты представлены симплективными срастаниями кальсилит/нефелина и калиевого полевого шпата. Структура микропегматитовая. Цвета интерференции серые, цвет без анализатора белый, с мелкими агрегатами вторичных минералов представленных либнеритом.

Калиевый полевой шпат. Имеет гипидиоморфную форму зёрен, размер которых достигает до 10 мм. Отмечается пертитовая и пойкилитовая структуры. Кристаллы калиевого полевого шпата часто включают в себя биотит, совместно с которым встречается гранат - андрадит.

Нефелин. Гипидиоморфная форма зёрен, цвета интерференции серые. Возможно нахождение в симплектитовых (микропегматитовых) агрегатах, вместе с калиевым полевым шпатом. Нефелин развит повсеместно и не имеет четких минералов спутников.

Биотит. Биотит представлен вытянутыми призматическими зёрнами с пойкилитовой структурой, имеет характерный буроватый цвет, наблюдается спайность. Размер зёрен биотита 4-5 мм.

Андрадит. Для зерен андрадита характерен высокий рельеф, сильная трещиноватость, гипидиоморфная форма. Размер зерен менее 3 мм. Зерна трещиноватые, находятся в сростках с биотитом.

Вторичные минералы представлены либнеритом, канкринитом и цеолитами. Либнерит развит в псевдолейцитовом агрегатате, а канкринит развивается в трещинах и может полностью замещать отдельные кристаллы. Также псевдолейцит можно принимать за вторичный минерал, так как псевдолейцит образуется при разрушении минерала лейцита.

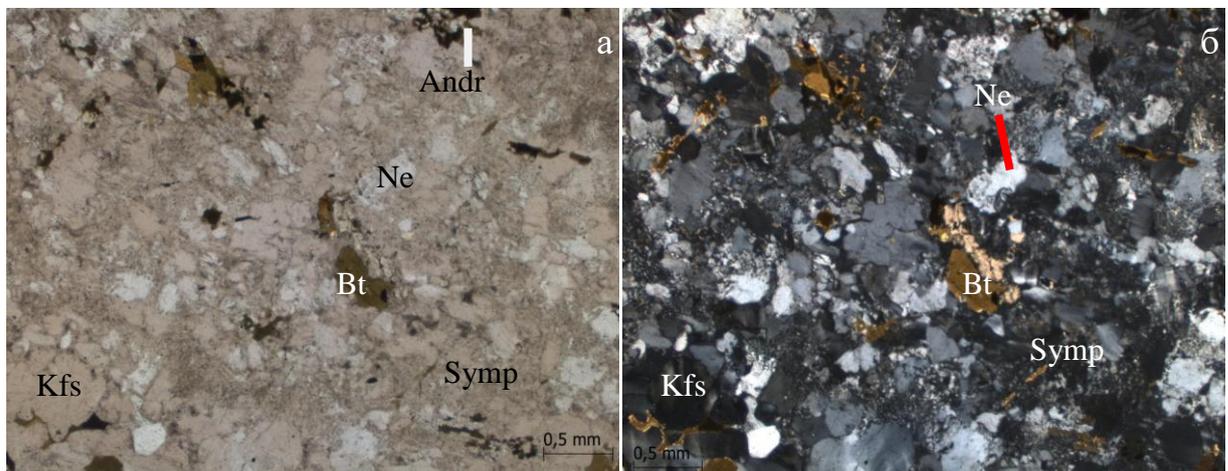


Рисунок – 3 Сыннырит *a* – без анализатора, *b* – с анализатором

Примечание: Kfs – калиевый полевой шпат, Ne – нефелин, Symp – симплектитовые сростания калиевого полевого шпата и кальсилита/нефелина

Образец 35Т – 3

Сиенит (типа пуласкит)

Макроскопически порода имеет красновато-серый цвет, 80% лейкократовых и 20% мезократовых минералов, с однородной, массивной текстурой. Количественно-минералогический состав: плагиоклаз – 25%, калиевый полевой шпат – 30%, биотит – 15%, нефелин – 10%, псевдолейцит – 5%, андрадит 5%, гематит <1% (рис 4).

Структура образца: средне-крупнозернистая, полнокристаллическая, пойкилитовая, симплективная (микропегматитовая).

Плагиоклаз. В шлифе имеет гипидиоморфную, удлинённую форму зерен, наблюдаются полисинтетические двойники, размер отдельных кристаллов до 6 мм. Имеет характерные серые цвета интерференции. В трещинах плагиоклаза развивается клинопироксен, кристаллы клинопироксена не ориентированы и предположительно представлены эгирином.

Калиевый полевой шпат. Представлен микроклином, с характерной микроклиновой решеткой. Форма зерен гипидиоморфнозернистая, в некоторых кристаллах имеют пойкилитовые включения биотита и андрадита, а также ориентированные зерна гематита. Размер до 30 мм.

Биотит. Биотит представлен вытянутыми призматическими зернами с пойкилитовой структурой, имеет характерный буроватый цвет и спайность по 001. Размер зёрен биотита 14 мм.

Андрадит. Для зерен андрадита характерна зональность (темный центр, светлый край) и высокий рельеф. Размер зерен достигает 10 мм. Зерна – трещиноватые, находятся в сростках с биотитом. При скрещенных николях цвет обычно черный, просвечиваются только края. Однако при большом увеличении в зернах андрадита наблюдается развитие щелочного пироксена.

Псевдолейцит. Агрегаты представлены симплективными сростаниями кальсилита/нефелина и калиевого полевого шпата. Структура симплектитовая. Цвета интерференции серые, без анализатора - белый.

Нефелин. Гипидиоморфная форма зёрен, цвета интерференции серые. Возможно нахождение в симплективных (микропегматитовых) агрегатах, вместе с КПШ. Размер 0.2 – 0.4 мм.

Гематит. Гематит присутствует в трещинах калиевого полевого шпата, зёрна удлинённые, ориентированы в одном направлении, размер 1 мм и менее.

По зернам псевдолейцита и нефелина развивается вторичный минерал либнерит. Цвет либнерита без анализатора зелёный, образует скопления, которые при меньшем увеличении выглядят, как серые пятна схожие с цеолитами.

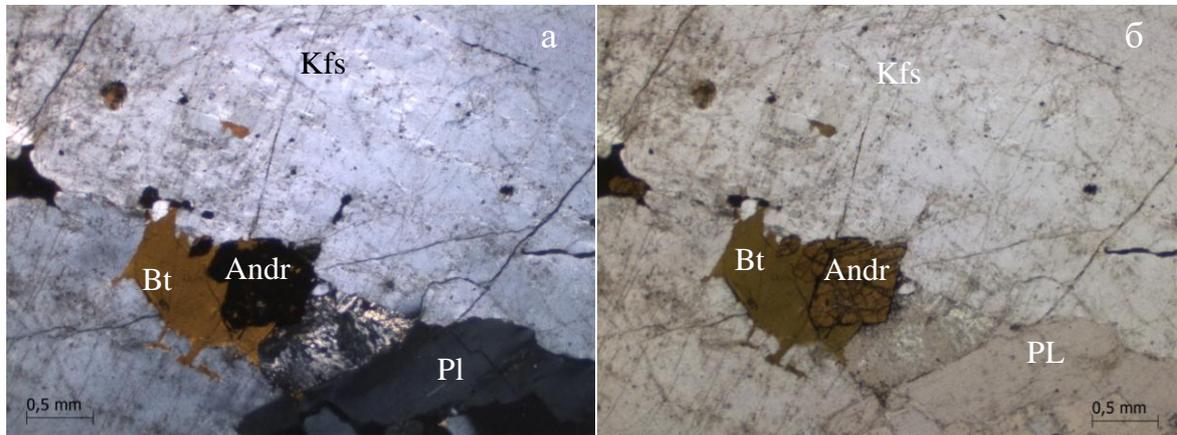


Рисунок 4 – Сиенит (типа пуласкит) *а* – с анализатором, *б* – без анализатора:

Примечание: Kfs – калиевый полевой шпат, Bt – биотит, Andr – андрадит, Pl – плагиоклаз

Образец 35Т-4

Псевдолейцитовый сиенит

Макроскопически светлая порода, 90% лейкократовых и 10% мезократовых минералов, с однородной массивной крупно-среднезернистой структурой. Количественно - минералогический состав: псевдолейцит 40%, нефелин 20%, плагиоклаз 20%, калиевой полевой шпат 10%, биотит 5%, андрадит 5% (рис. 5).

Псевдолейцит. Характеризуется низкими цветами интерференции. Образуют симплектитовые агрегаты с микропегматитовой структурой. В агрегатах наблюдаются светло-коричневые вторичные агрегаты канкринита и тёмно-зеленные до черного мелкочешуйчатые агрегаты либнерита.

Нефелин. Образует гипидиоморфные формы зёрен, размер отдельных кристаллов достигает более 15 мм. Нефелин также наблюдается в псевдолейцитовом агрегате, кристаллы по большей части находятся совместно с псевдолейцитом. При просмотре с анализатором цвет зёрен нефелина яркий, белый с прямым погасанием. Вторичные процессы характеризуются наличием либнерита и канкринита.

Плагиоклаз. Для плагиоклаза характерна удлинённая форма зёрен, с низкими цветами интерференции. В шлифе пользуется большим распространением, с зёрнами 5-10

мм, однако встречаются единичные зерна размером 14-15 мм. Не имеют определённого нахождения совместно с определёнными минералами.

Калиевый полевой шпат. Имеет гипидиоморфную форму зёрен, размер которых достигает до 7 мм. Для зёрен отмечаются пертитовые вроски альбита, с характерной микроклиновой решеткой. Зерна встречаются как в виде самостоятельных кристаллах, так и в симплектитовых сростаниях псевдолейцита. В зернах калиевого полевого шпата наблюдается ориентированные зёрна гематита, которые развивается по трещинам.

Биотит. Представлен вытянутыми призматическими зернами, имеет характерный буроватый цвет, наблюдается спайность по 001. Размер зёрен биотита 5-10 мм. Характерны сростания биотита и андрадита, также биотит встречается без сростков.

Андрадит. В шлифе андрадит обусловлен сростанием с биотитом и имеет изометричные, трещиноватые зерна размером до 5 мм. Для зерен андрадита характерно зональное строение темные центр и более светлые, коричневые края. Сростки биотита и андрадита приурочены к кристаллам калиевого полевого шпата.

Вторичные изменения наблюдаются в псевдолейците и нефелине с образованием либнерита, мелкими скоплениями, с анализатором темно-зелёные до черного. По калиевому полевому шпату развиваются цеолиты.

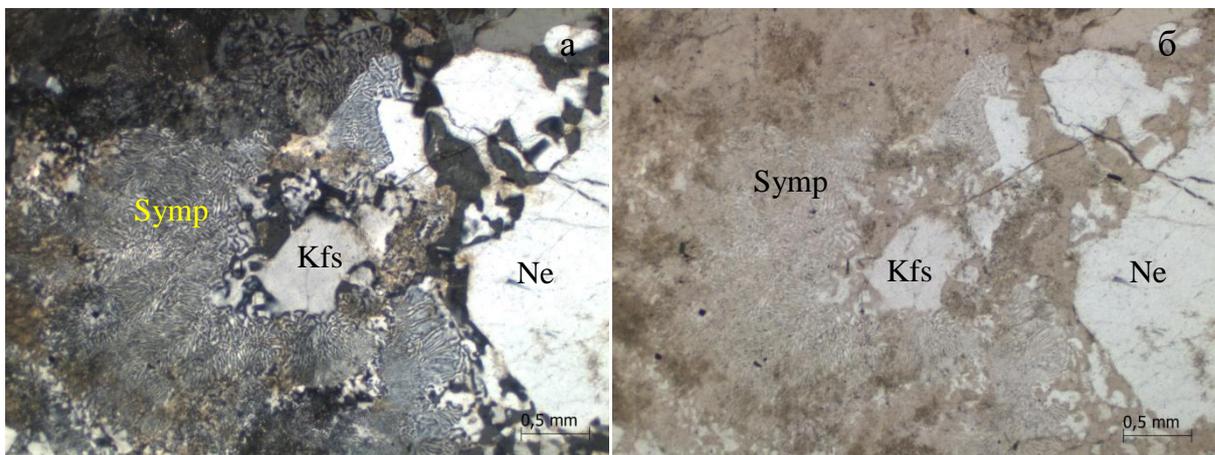


Рисунок 5 – Псевдолейцитовый сиенит *а* – с анализатором, *б* – без анализатора:

Примечание: Kfs – калиевый полевой шпат, Ne – нефелин, Symp – псевдолейцит.

Образец 35Т-5

Миаскит

Макроскопически светлая порода, 70% лейкократовых и 30% мезократовых минералов, с однородной, массивной мелкозернистой текстурой. Количественно - минералогический состав: калиевый полевой шпат 40%, нефелин 30%, плагиоклаз 20%,

биотит 5%, арфведсонит 5%. Порода отличается разнозернистой гипидиопорфно зернистой структурой (рис. 6).

Калиевый полевой шпат. Имеет гипидиоморфную форму зерен, средний размер 5 мм. Для зёрен отмечаются пертитовые вростки альбита и характерная микроклиновья решетка.

Нефелин. Образует гипидиоморфные формы зёрен, размер отдельных кристаллов 10 мм. При просмотре с анализатором нефелин имеет яркий, белый цвет с прямым погасанием. По нефелину также развивается канкринит, без развития либнерита, который был характерен для предыдущих образцов.

Плагиоклаз. Для зерен плагиоклаза наблюдаются полисинтетические двойники с плавным погасанием и нечеткой, слабопроявленной зональностью. Зерна плагиоклаза вытянуты и не имеют четкой ориентировки. Размер зерен до 5 мм.

Арфведсонит. Встречаются единичные вытянутые, игольчатые кристаллы, размером менее 5 мм. В шлифе арфведсонит имеет яркие (зелёные, синие) цвета, в некоторых кристаллах присутствует бурый окрас. Контактует со слюдами, которые в свою очередь располагаются рядом с калиевым полевым шпатом.

Биотит. Широко распространён в образце, размер кристаллов 4-5 мм. Зерна биотита отличаются от зёрен в предыдущих образцов тем, что для них совместно с характерным светло до темно коричневым цветом наблюдаются и яркие цвета интерференции, можно отнести к сарафанным. По нетипичным для биотита цветам интерференции можно сделать вывод о перенасыщении его калием.

Вторичные минералы развиваются в основном по нефелину, развитие канкринита и цеолитов. Также развитие цеолитов замечено по калиевым полевым шпатам. Либнеритизация проявлена в меньшей степени. В образце встречаются мелкие чешуйчатые агрегаты зелёного цвета.

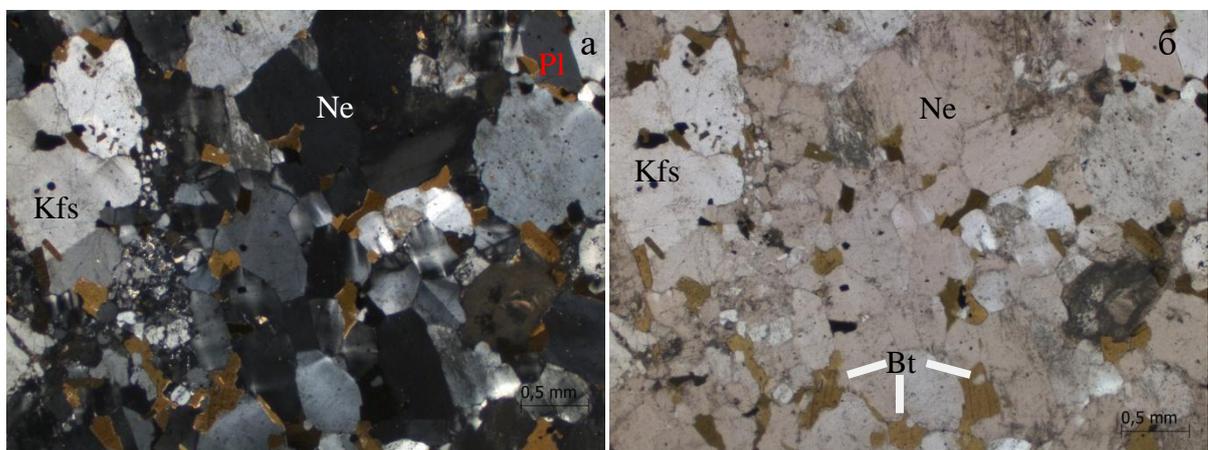


Рисунок 6 – Миаскит *а* – с анализатором, *б* – без анализатора

Примечание: Kfs – калиевый полевой шпат, Ne – нефелин, Bt – биотит, Pl – плагиоклаз.

Образец 36 КТ

Пуласкит

Макроскопически светлая порода, 80% лейкократовых и 20% мезократовых минералов, с однородной, массивной средне-мелкозернистой текстурой. Количественно - минералогический состав: калиевый полевой шпат 70%, эгирин 10%, биотит 10%, нефелин 5%, сфен 5%. Структура породы – гипидиморфно-зернистая (рис. 7).

Калиевый полевой шпат. В шлифе калиевый полевой шпат распространён повсеместно. Образует гипидиоморфно-зернистые кристаллы, с характерной отчетливой микроклиновой решеткой. Углы решетки варьируются разными значениями, широко распространены кристаллы, где угол приблизительно равен 90° , но встречаются и кристаллы с более острыми углами решётки до 45° . Также в кристаллах наблюдаются пойкилитовые включения сфена, биотита и эгирина. Размер кристаллов до 15 мм. В некоторых зернах калиевого полевого шпата наблюдается иризация, возможно связанная с адуляром, в целом данный процесс можно охарактеризовать как адуляризация.

Эгирин. Вкрапленные кристаллы эгирина наблюдаются в зёрнах калиевого полевого шпата, размер зёрен 5-6 мм. Цвета интерференции зелёные, в кристаллах наблюдается неориентированная трещиноватость, зерна частично замещены вторичными минералами, карбонатами совместно с канкринитом.

Биотит. Широко распространён в образце, размер кристаллов 4-5 мм. Зерна характеризуются светло розовыми, с переходом до светло зеленого цвета. При просмотре без анализатора цвет биотита в большей степени коричневый, с оттенками зелёного цвета.

Сфен. Облик кристаллов сфена представлен ромбовидными формами выделения. Цвета интерференции серые до светло коричневого с прямым погасанием. В отдельных кристаллах наблюдаются двойники. Размер кристаллов 5-6 мм.

Вторичные минералы, повсеместно развиты в образце. По полевым шпатам развиваются цеолиты. По нефелину и эгирину широкое распространение имеет канкринитазия, совместно с карбонатами.

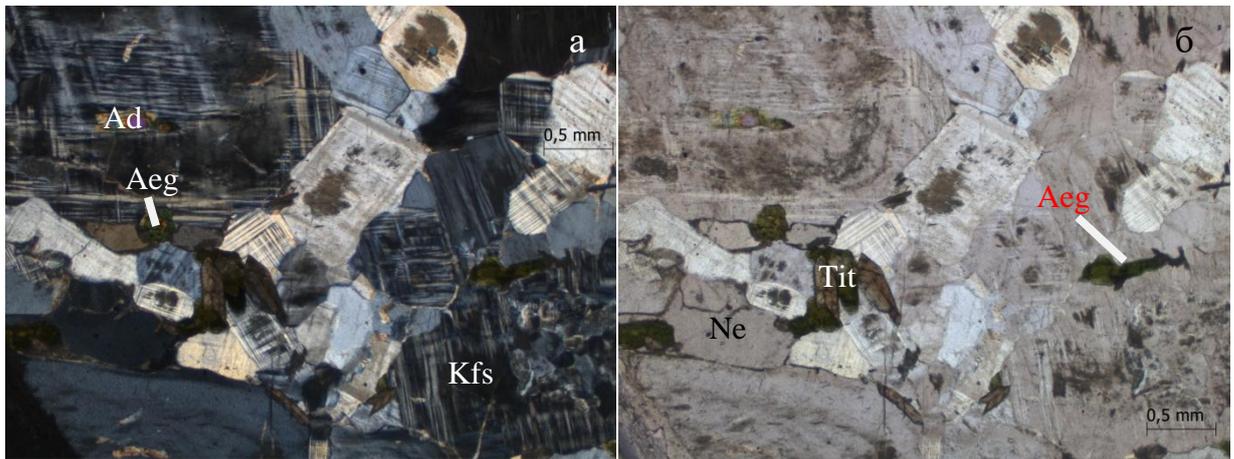


Рисунок 7 – Пуласкит средне-мелкозернистый. а – с анализатором, б – без анализатора.

Примечание: Kfs – калиевый полевой шпат, Ne – нефелин, Tit – сфен (титанит), ad – адуляризация, Aeg – эгирин

Исследуемые породы Южносакунского щелочного массива можно охарактеризовать, как фельшпатоидные, нефелин и кальсилит содержащие. В минералах широко развиты вторичные процессы минералообразования, такие как либнеритизация, цеолитизация и канкринитизация.

Процессы, связанные с либнеритизацией могут пагубно влиять на технологические свойства руд и на использование их в качестве бесхлорного калийного удобрения.

Средний минеральный состав составляют такие минералы как: калиевый полевой шпат, нефелин, кальсилит, гранат андрадит, биотит, аксессуарный минерал сфен и редкие минералы, которые не находят повсеместного распространения в шлифах, эгирин и арфведсонит.

3. Петрохимическая характеристика пород массива

Для петрохимической интерпретации пород Южносакунского щелочного массива, образцы были переданы для проведения рентгенофлуоресцентного анализа в центр коллективного пользования при Томском государственном университете (Таблица 1).

Таблица 1. Результаты рентгенофлуоресцентного анализа

проба	35Т-1	35Т-2	35Т-3	35Т-4	35Т-5	36КТ
SiO ₂ %	58.490	55.792	58.501	61.700	61.245	64.063
Fe ₂ O ₃ %	4.553	3.771	4.294	4.021	4.036	3.852
MgO%	3.442	3.264	4.233	0.255	0.338	0.872
CaO%	3.062	2.919	3.267	1.112	1.814	2.382
Na ₂ O%	3.428	1.989	3.582	3.575	3.342	2.835
K ₂ O%	6.752	11.428	7.532	6.753	11.425	8.333
TiO ₂ %	0.398	0.351	0.930	0.173	0.463	0.203
P ₂ O ₅ %	0.091	0.072	0.349	0.040	0.141	0.109
MnO%	0.006	0.007	0.0150	0.002	0.007	0.003
Al ₂ O ₃ %	18.691	18.855	17.005	20.612	15.373	16.806
S, ppm	141.982	794.990	140.220	459.548	1715.569	734.440
ППП.%	1.080	1.270	0.270	1.560	1.640	0.440

При петрохимической интерпретации пород Южносакунского щелочного массива, автором, для распределения магматических пород по группам (по кремнекислотности) и по петрохимическим рядам (по степени щелочности), были построены бинарные диаграммы на основе рассчитанных коэффициентов, наглядно отражающих химический состав пород (рис. 8).

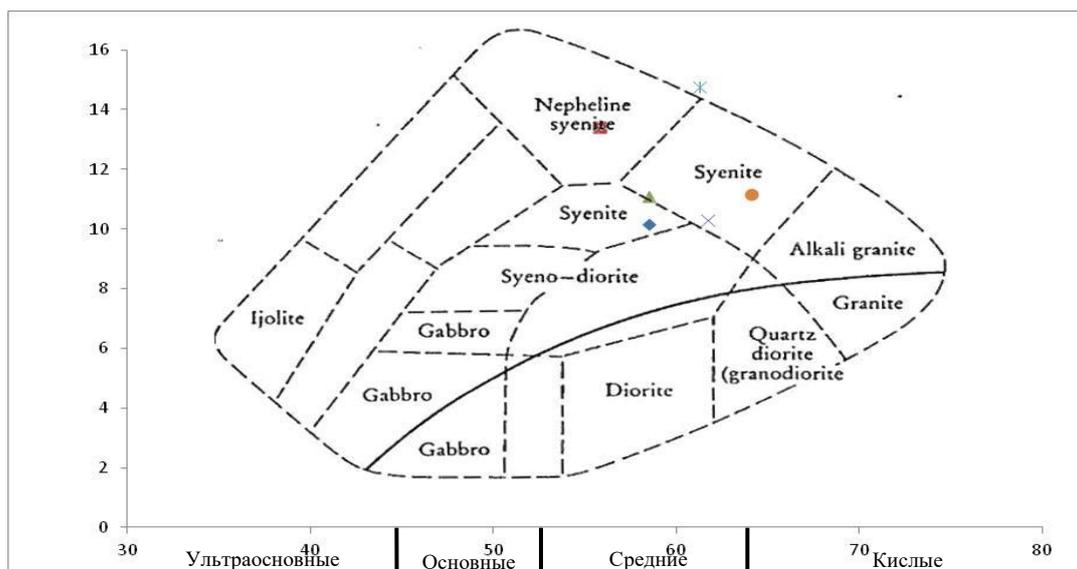


Рисунок 8 – TAS диаграмма для химической классификации плутонических горных пород (Сох 1979)

На TAS диаграмме для химической классификации плутонических горных пород

отчётливо видно, что исследуемые породы в поле сиенитов и нефелиновых сиенитов. Это связано с повышенным содержанием суммы щелочей ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$). Также количество кремнезёма варьируется от 55 мас.% до 64 мас.%.

Для распределения пород по петрохимическим рядам были использованы бинарные TAS-диаграммы ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) – SiO_2 (рис. 9) и ($\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$) – SiO_2 (рис. 10).

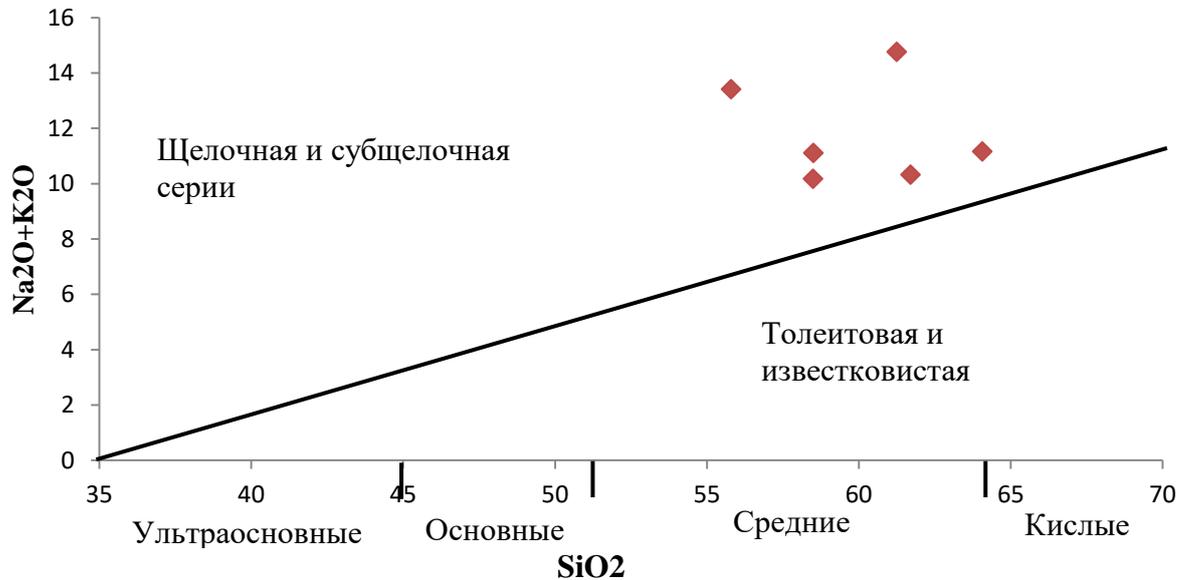


Рисунок 9 – Бинарная диаграмма распределения горных пород по щелочности

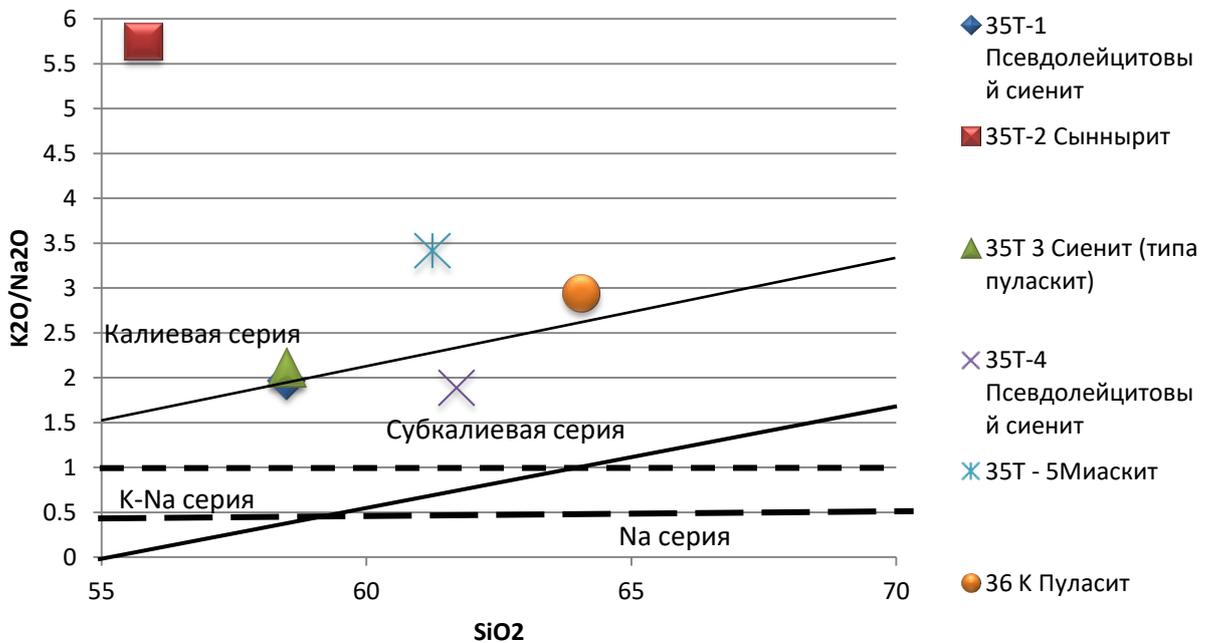


Рисунок 10 – Бинарная диаграмма разделения пород по степени щелочности

Примечание - на рис.10 показана классификация пунктирными – классификация по Масайтису В.Л., Двумя сплошными линиями по Богатикову О.А

На данной диаграмме можно увидеть, что изучаемые породы Сакунского щелочного массива попадают в калиевую серию, а точнее пуласкит, миаскит, сиенит и сыннырит. Однако сыннырит заметно выбивается из общего поля из-за преимущественного содержания в нем K_2O относительно Na_2O . Псевдолейцитовый сиенит и сиенит типа пуласкит располагаются на границе калиевой и субкалиевой сериями, это связано с вторичными процессами, либнеритизацией, которая сопровождается кислотным выщелачиванием K_2O . Для псевдолейцитовых сиенитов можно сделать такие же выводы, что и для предыдущих пород, которые подверглись либнеритизации.

Также при интерпретации пород были построены диаграммы Харкера, для исследования эволюции расплава (рис. 12).

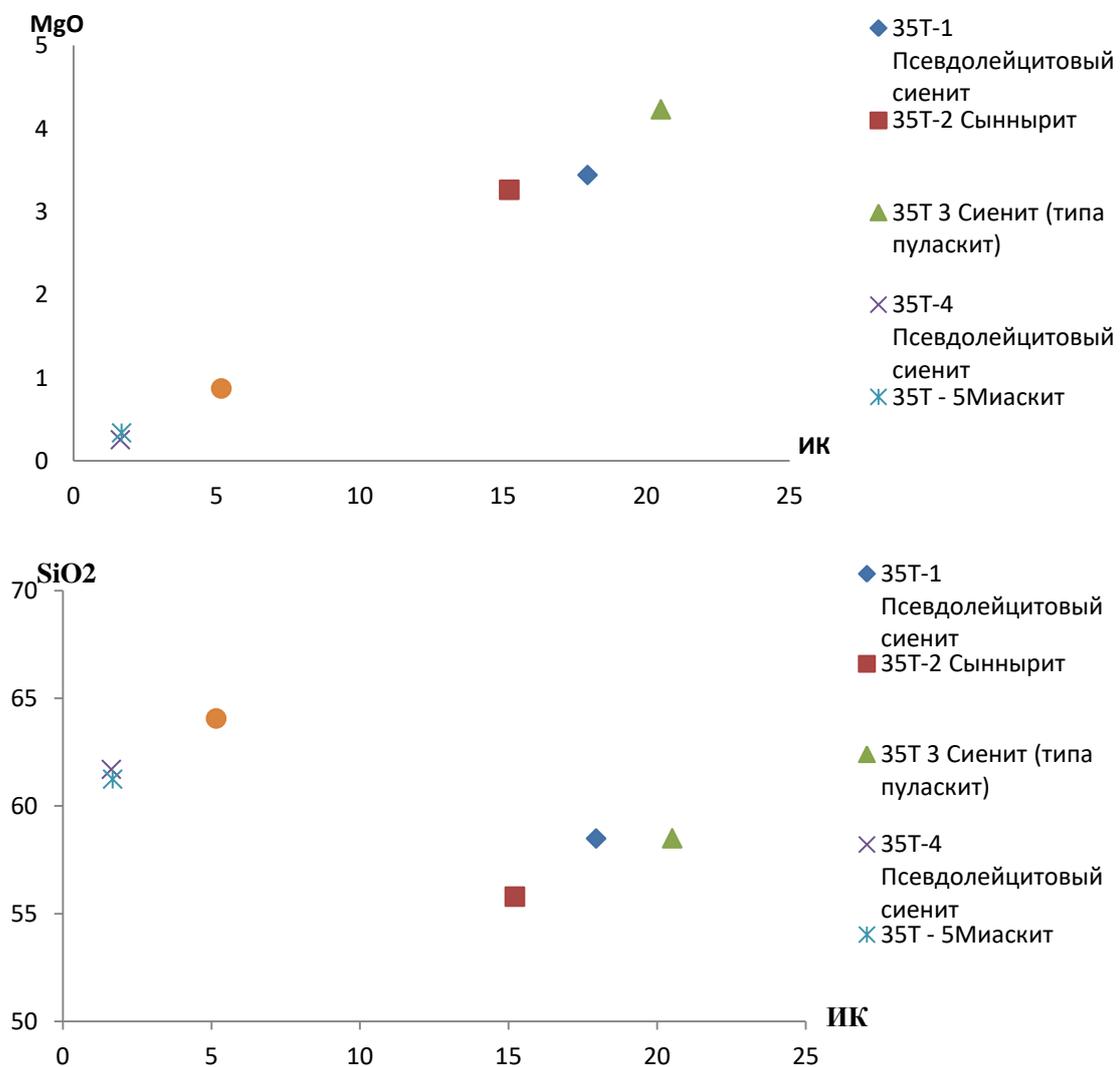


Рисунок 12 – Диаграммы Харкера отражающие эволюцию расплава

Для построения диаграмм Харкера по оси абсцисс был использован индекс кристаллизации – Куно. $ИК = (100 * MgO) / (MgO + Fe_2O_3 + Na_2O + K_2O)$, а по оси ординат откладывались петрогенные оксиды MgO и SiO_2 .

На диаграмме для MgO наблюдается отрицательный тренд, а для SiO₂ тренд положительный. Исходя из этого, можно сделать вывод, что по мере движения расплава происходила кристаллизационная дифференциация, за счёт которой тяжелые, (фемические) минералы при кристаллизации осаждались вниз, за счёт чего происходило увеличение кремнекислотности.

В.К. Голев, который в своих наблюдениях отмечает, что дифференциация проявлена в масштабе всего тела – в уменьшении количества мафических минералов вверх по разрезу, в образовании крупных ритмов с преобладанием какой-либо одной породы и формировании тонкой полосчатости.

Крутые углы падения, а также строение полосчатости без четкого увеличения количества тяжелых минералов к нижней части каждого прослоя указывают на то, что дифференциация происходила, в основном, в глубинном очаге и в процессе движения расплава, а не в магматической камере [13].

Также для петрохимической характеристики исследуемых пород были рассчитаны петрохимические коэффициенты, на основании полученных результатов рентгенофлуоресцентного анализа.

Коэффициент агпаитности: $K_a = (Na_2O + K_2O) / Al_2O_3$. Данный коэффициент был рассчитан для уточнения содержания щелочных металлов (Na и K) в амфиболах и пироксенах. При наличии этих минералов $K_a > 1$, а если все количество Na и K заключено в полевых шпатах, то $K_a < 1$.

Таблица 2 Значения коэффициента агпаитности для исследуемых пород

проба	35Т-1	35Т-2	35Т-3	35Т-4	35Т-5	36КТ
K_a	0.5	0.7	0.7	0.5	1.0	0.7

Коэффициент глиноземистости $Al_2O_3 / (FeO + Fe_2O_3 + MgO)$

Таблица 3 Значения коэффициента глиноземистости

проба	35Т-1	35Т-2	35Т-3	35Т-4	35Т-5	36КТ
K_{al}	2.3	2.7	2.0	4.8	3.5	3.6

Из рассчитанных коэффициентов можно сделать следующие выводы: все исследуемые породы относятся к весьма глиноземистым. Также данные коэффициенты отражают относительные количества цветных минералов над лейкократовыми. Это значит, что Al₂O₃ в исследуемых породах содержится в нефелине-кальсилите и меньшая часть в биотите.

4. Геохимическая характеристика пород массива

В данном разделе рассматриваются особенности распределения редкоземельных и редких элементов в исследуемых породах на примере 3 образцов: (Псевдолейцитовый сиенит, сыннырит, сиенит (типа пуласкит)), содержание которых было выявлено методом ICP-MS

Содержание редких и редкоземельных элементов были нормированы по отношению к содержанию соответствующих элементов в сиенитах (таблица 4).

Таблица 4. Отношения исследуемых пород к сиенитам. (Овчинников Л.Н.)

Element	Псевдолейцитовый сиенит	Сыннырит	Сиенит (типа пуласкит)
Li	4.84	2.35	1.52
Be	11.76	11.33	4.24
B	7.98	7.25	7.43
Sc	67.87	6.26	8.79
Ti	17.09	5.28	5.13
V	171.24	57.23	48.30
Cr	63.73	60.80	91.26
Mn	325.14	115.80	87.51
Co	46.42	16.40	15.71
Ni	68.14	21.44	20.84
Cu	47.50	88.89	37.49
Zn	1000.21	309.55	246.55
Ga	548.10	500.61	335.74
Rb	19.94	41.53	49.76
Sr	249.01	147.74	114.57
Y	23.79	7.38	10.52
Zr	2.67	0.91	0.55
Nb	0.72	0.65	0.10
Mo	4.41	11.45	6.31
Cs	85.15	108.41	188.17
Ba	23.98	6.68	10.42
La	8.92	3.77	1.53
Ce	9.44	3.63	1.93
Pr	13.81	4.18	2.73
Nd	14.20	4.21	3.50
Sm	15.59	4.16	4.95
Eu	27.52	7.23	10.03
Gd	10.70	2.91	3.13
Tb	10.36	2.71	3.70
Dy	11.04	2.96	4.49
Ho	7.36	2.05	3.10

Er	9.54	2.72	4.13
Tm	15.65	3.68	6.39
Yb	10.16	3.03	4.50
Lu	4.83	1.45	2.09
Hf	4.03	1.28	0.88
Ta	0.12	0.15	0.18
W	0.31	0.29	0.12
Tl	1.56	2.83	3.00
Pb	8.09	4.37	2.25
Th	4.62	2.29	0.71
U	6.50	2.48	1.15

Проанализировав полученный график, были сделаны выводы, что данные породы практически полностью повторяют контуры сиенитов, за исключением некоторых элементов. И их небезосновательно можно отнести к сиенитам, что подтверждает их формационную связь. На графике выделяются заметные минимумы для титана и циркония, а также незначительные минимумы для церия.

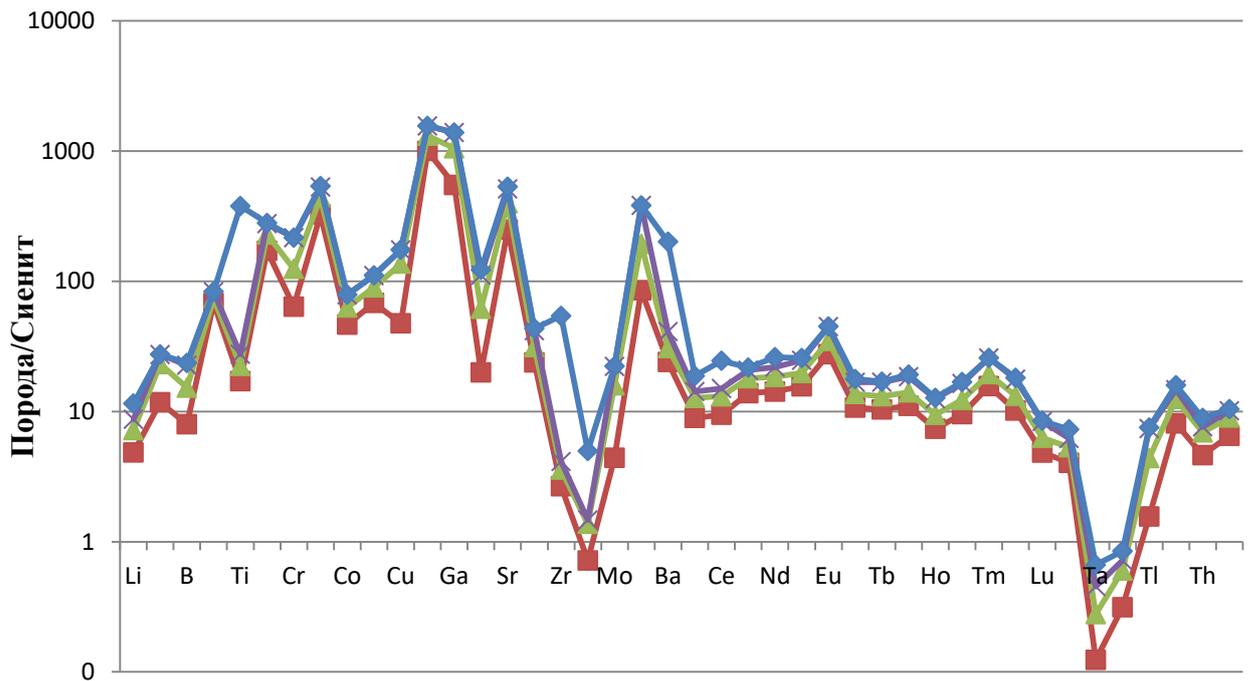


Рисунок 13 – Мультиэлементная диаграмма для пород Южносакунского массива. (Овчинников Л.Н. 1990)

— Сиенит (Овчинников Л.Н. 1990), — Сиенит (типа пуласкит), — Сыннырит,
 — Псевдолейцитовый сиенит

Редкие рассеянные элементы были нормированы относительно примитивной мантии. Результаты представлены в таблице 5 и визуализированы на рисунке

Таблица 5. Значения рассеянных элементов в исследуемых породах относительно примитивной мантии (Sun S.S., McDonough W.F.), значения базальты островных дуг (IAB) (Kelemen P.B и др.)

Element	Псевдолейцитовый сиенит	Сыннырит	Сиенит (типа пуласкит)	IAB
Cs	159.66	203.28	352.82	22.19
Rb	345.48	719.50	861.95	29.34
Ba	549.00	152.89	238.46	42.21
Th	70.64	35.02	10.82	23.88
U	92.87	35.40	16.37	25.24
Nb	83.66	24.80	20.60	8.74
Ta	0.63	0.79	0.90	10.98
La	58.43	24.70	10.04	17.25
Ce	50.50	19.43	10.35	14.57
Pr	50.04	15.14	9.91	10.33
Sr	236.03	140.04	108.59	20.18
Nd	44.06	13.06	10.85	10.99
Sm	35.12	9.36	11.15	7.73
Hf	14.36	4.57	3.12	6.93
Zr	11.90	4.08	2.44	8.28
Eu	29.48	7.75	10.75	6.37
Gd	17.95	4.88	5.25	5.96
Tb	15.35	4.02	5.48	4.72
Dy	10.48	2.81	4.27	4.50
Y	8.89	2.76	3.93	4.11
Ho	8.98	2.50	3.77	4.15
Er	8.74	2.50	3.78	4.06
Tm	9.31	2.19	3.80	3.92
Yb	8.86	2.64	3.92	3.69
Lu	7.83	2.35	3.38	3.78

На графике редких рассеянных элементов тренды исследуемых пород были отнесены к геодинамической обстановке, характерной для базальтов островных дуг (IAB). На диаграмме наблюдается резкое превышение крупноионных литофильных и высокозарядных элементов над эталонными элементами базальтов островных дуг (IAB). Исключение составляют сынныриты, для которых наблюдается снижение высокозарядных элементов. Максимумы характеризуются такими элементами, как Cs, Rb, Ba, Eu. Минимумы представлены Th, Ta, Hf, Zr. Резкое превышение содержаний легких РЗЭ относительно тяжелых, вероятнее всего, указывает на присутствие граната в

источнике плавления. Минимумы Hf и Zr свидетельствуют о степени дифференциации расплава. Резкая отрицательная аномалия Ta свидетельствует о том, что породы формировались в условиях, близких к низкотемпературным.

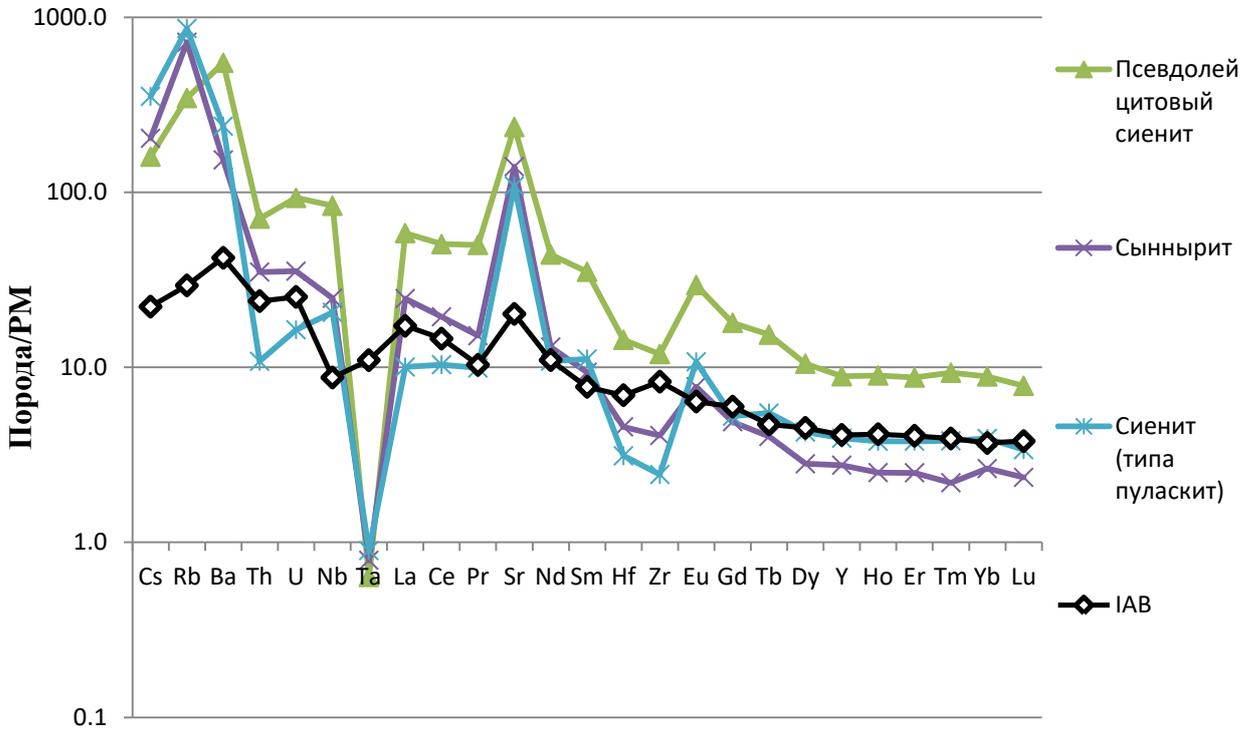
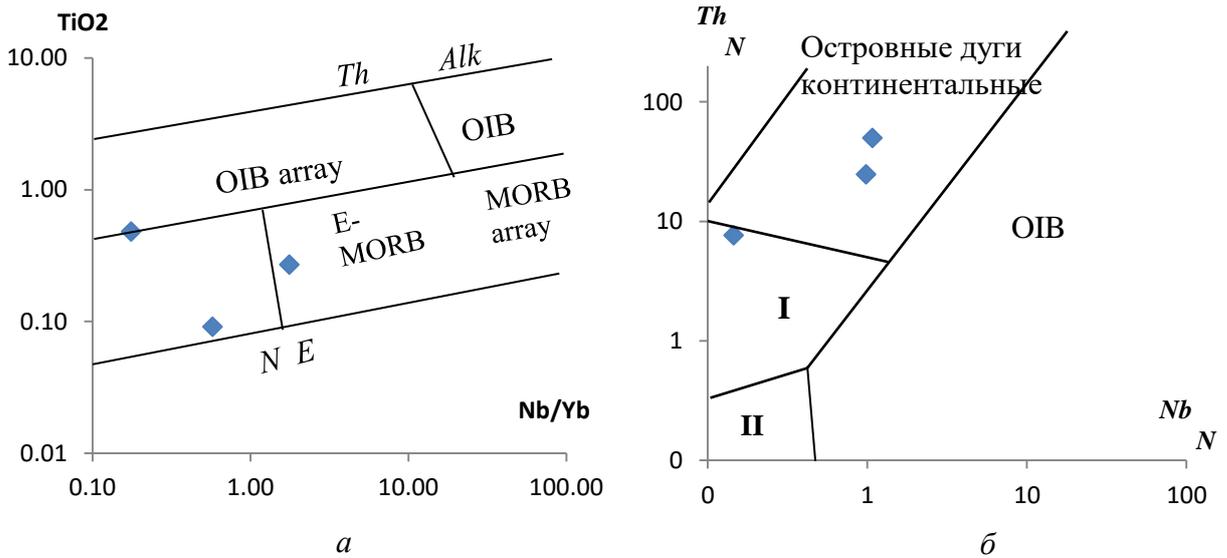


Рисунок 14 – График распределения редкоземельных элементов

На основе данных ISP-MS были построены диаграммы для базальтов различных геодинамических обстановок (рис. 15).



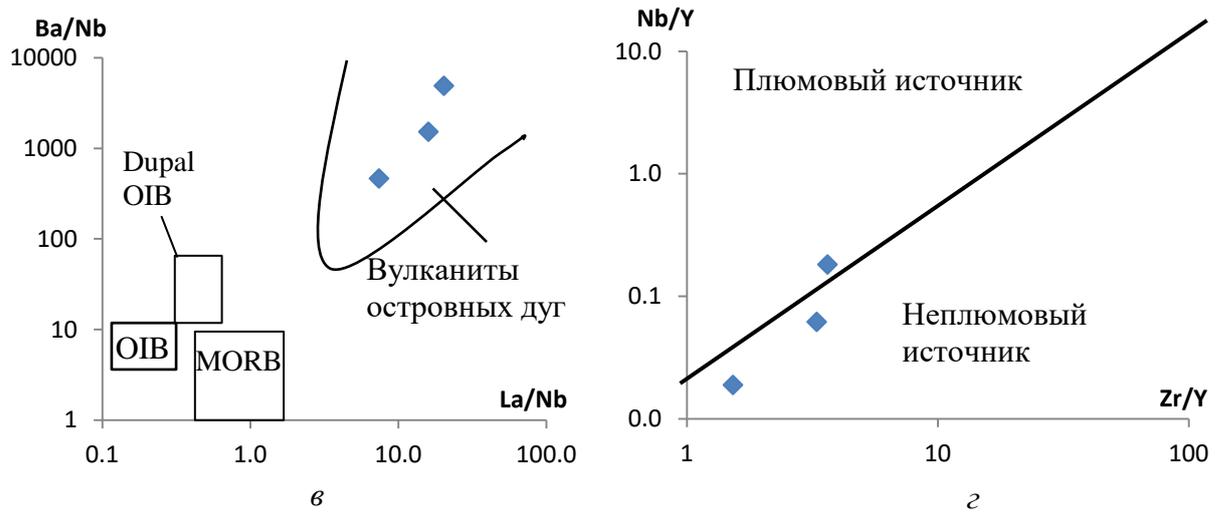


Рисунок – 15 Геохимические особенности исследуемых пород относительно базальтов различных геодинамических обстановок. *a*- $TiO_2/Yb - Nb/Yb$ [Pearce, 2008]: выделены толеитовые (Th) и щелочные (Alk) разновидности OIB, нормальные (N-MORB) и обогащенные (E-MORB) базальты срединно-океанических хребтов, *б*- $Th_N - Nb_N$ [Saccani, 2015]: I-II – внутриокеанические зрелые (I) и юные (II) островные дуги, *в*- $Ba/Nb - La/Nb$ [Bietal., 2015], *з*- $Nb/Y - Zr/Y$ [Condie, 2005] приуроченность пород к плюмовому источнику.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проделанной работы были исследованы петрографические и петрохимические особенности пород Южносакунского щелочного массива. Полученные данные из результатов рентгенофлуоресцентного анализа и содержаний редкоземельных и редких рассеяных элементов методом ICP-MS были интерпретированы относительно эталлонных и визуализированы в виде графиков и таблиц. Помимо статистических расчетов породы были рассмотрены и классифицированы под микроскопом на примере 6 прозрачных шлифов. Все исследуемые шлифы были отнесены к фельдшпатоидным сиенитам.

Также для исследуемых пород были описаны вторичные процессы минералообразования. К таким относятся либнеритизация, канкринитизация и цеолитизация.

Большое значения для дальнейшего технологического исследования руд имеет либнеритизация, так как при образовании либнерита, за счёт кислотного выщелачивания, происходит заметное снижение калия в породах (4-5%).

В результате петрохимических исследований, породы были разделены по степени щелочности на калиевые и субкалиевые серии. Одновременно были рассмотрены эволюционные особенности становления массива, которое, связано с кристаллизационной дифференциацией расплава, во время его движения. В связи с этим было установлено, что процесс минералообразования предположительно происходил в низкотемпературных условиях или близких к ним.

На основании полученных данных ICP-MS породы были нормированы к значениям примитивной мантии. Относительно этих значений было выявлено, что данные породы схожи с геодинамическими условиями образования характерных для базальтов островных дуг.

В заключении стоит отметить, что из-за небольшого количества образцов, а соответственно и количества проведённых анализов, не удалось решить ряд вопросов, которые на данный момент остаются открытыми.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Опубликованная литература:

1. Архангельская В. В. О строении Сыннырского массива щелочных пород // Сов. геология. 1965. № 9. С. 74—87.
2. Базарова Т.Ю., Жидков А.Я., Костюк В.П., Орлова М.П., Панина Л.И. / Калиевый щелочной магматизм Байкала-Становой рифтогенной системы Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990. - 239 с.
3. Геосферные исследования. В.В. Врублевский, В.И. Крупчатников, И.Ф. Гертнер. Роль земной мантии в развитии вулканизма океанских островов в раннем палеозое. Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия 2017. № 1. С. 28–38
4. К.Г. Кокс, Дж. Д. Белл, Р. Дж. Панкхерст. Интерпретации изверженных горных пород. – Пер. с англ. – М.: Недра, 1982. – 414 с. Пер. изд.: Великобритания, 1979.
5. Панина Л.И. Минералого-генетическая характеристика некоторых щелочных массивов Прибайкалья. Новосибирск. Изд-во: Наука. 1972. С. 127
6. Складов Е.В. Интерпретация геохимических данных /Е.В. Складов, Д.П. Гладкочуб, Т.В. Донская, и др; Е. В. Складова. — 1-е изд. — Москва: Интернет Инжиниринг, 2001. — 288с.
7. Практическая петрология: методические рекомендации по изучению магматических образований применительно к задачам госгеолкарт. — СПб: Изд-во ВСЕГЕИ, 2017. 168 с.
8. Овчинников Л.Н. Прикладная геохимия. М.: Недра, 1990. -248с.: ил.
9. Чернышов А.И. Магматические горные породы /А.И. Чернышов. — Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2015. — 182с.
10. Чернышов А.И. Структуры и текстуры магматических и метаморфических горных пород /А.И. Чернышов, П.А. Тишин, И.В. Вологодина. — Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2018. — 136с.
11. Kelemen P.B., Hanghoj K., Greene A.R. One view of the geochemistry of subductionrelated magmatic arcs, with emphasis on primitive andesite and lower crust. Treatise on Geochemistry the Crust. USA: University of Maryland. V. 3. 2003. P. 593– 659 29.
12. Sun S.S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. Geol. Soc. Spec. Publ. № 42. 1989. P. 313-345.

Фондовая литература:

13. Голев В.К. Отчет о поисках ультракалиевых пород, проведенных Нерудной партией в 1979-81 гг. на площади Сакунского щелочного массива. Чита. 1981. 189с.

14. Остроконь А.И. Отчет о результатах предварительной разведки, проведенной на Голевском месторождении сынныритов в 1990-93 гг. Чита. 1996. 102 с.