

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ИНСТИТУТ ГЕОХИМИИ ИМ. А. П. ВИНОГРАДОВА  
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
(ИГХ СО РАН)

УДК 550.42:546.027  
Рег. № НИОКТР АААА-А17-  
117061610017-9

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИГХ СО РАН, д.г.-м.н.

А. Б. Черепелов

« 15 » *сентября* 2020 г.

ОТЧЕТ  
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ  
по теме:

ВОЗРАСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАССИВОВ И ФОРМАЦИОННЫЕ ТИПЫ  
РЕДКОМЕТАЛЛЬНЫХ КАРБОНАТИТОВ К-ЩЕЛОЧНЫХ ЛАМПРОИТ-  
КАРБОНАТИТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ ЩИТОВ И СКЛАДЧАТЫХ ЗОН  
(промежуточный)

Номер проекта № 0350-2019-0009

Приоритетное направление: VIII.71. Закономерности формирования минерального, химического и изотопного состава Земли. Космохимия планет и других тел Солнечной системы. Возникновение и эволюция биосферы Земли, биогеохимические циклы и геохимическая роль организмов.

Программа ФНИ СО РАН VIII.71.1. Процессы мантийно-корового взаимодействия и изотопно-геохимические индикаторы рециклирования элементов.

Руководитель проекта  
д.г.-м.н.




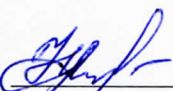




Н.В. Владыкин

подпись, дата

15.09.2020

Иркутск 2020

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Научный руководитель темы, д-р геолого-минералогических наук	 15.01.2020 ----- подпись, дата	Н. В. Владыкин  (раздел 1-3)
Ст. науч. сотр., канд. геол.-мин. наук	 15.01.2020г. ----- подпись, дата	Н. В. Алымова  (раздел -1)
Науч. сотр., канд. геол.-мин. наук	 15.01.2020 ----- подпись, дата	Т. А. Радомская  (раздел- 2)
Науч. сотр., канд. геол.-мин. наук	 15.01.2020 ----- подпись, дата	И. А. Сотникова  (раздел - 3)
Ст. науч. сотр., канд. геол.-мин. наук	 15.01.2020 ----- подпись, дата	Е. В. Канева  (раздел - 3)
Ведущий инженер	 15.01.2020 ----- подпись, дата	А. Ю. Митрофанова  (раздел -3 )

## РЕФЕРАТ

Отчет 25 с., 10 рис., 20 источн., 1 прил.

ПЕТРОЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ ЩЕЛОЧНЫХ ПОРОД, КАРБОНАТИТЫ,  
РУДОНОСНОСТЬ, ВОЗРАСТ ПОРОД, РЕДКОМЕТАЛЛЬНОЕ ОРУДИНЕНИЕ,  
ФОРМАЦИОННЫЕ ТИПЫ, SR-ND ИЗОТОПИЯ, МАНТИЙНЫЕ ИСТОЧНИКИ

Объекты исследования: К-щелочные лампроит-карбонатитовые комплексы щитов и складчатых зон (массивы – Томторский, Гулинский, Мальджангарский).

Целью исследований является получение вещественных характеристик (возрастных, геохимических, изотопных, P-T условий образования) для эталонных щелочных комплексов, проявившихся в различных геодинамических обстановках и сопряженных с мантийными плюмами, обоснование связи с ними стратегического редкометалльного оруденения, разработка моделей магмо- и рудообразования, выявление общих закономерностей в формировании и эволюции соответствующих рудно-магматических систем.

В результате работы уточнены возраста двух этапов магматизма Томторского массива и редкометалльного оруденения, получены дополнительных петрохимических и геохимических данных о составе пород и руд массива, определен его формационный тип, построена генетическая модель образования его руд и обоснованы новых методов поисков таких руд.

Впервые получены данных о возрасте Мальджангарского массива, геохимической характеристики его редкометалльных карбонатитов и поведение в них редких элементов. Получены новые данные редкометалльной характеристики карбонатитов Гулинского массива. Обобщены полученные данные по массивам Прианабарских щелочных пород и этапах щелочного магматизма.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	6
ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ.....	8
1 Геологическое положение щелочных массивов Прианабарья и схемы их магматизма .....	8
1.1 Томторский щелочно-ультраосновной массив с редкометальными карбонатитами .....	9
1.1.1 Геологическое строение массива .....	10
1.2 Мальджангарский карбонатитовый массив .....	11
1.3 Гулинский ультраосновной-щелочной карбонатитовый массив.....	13
2 Возраст массивов и этапы щелочного магматизма .....	14
2.1 Томторский массив.....	14
2.2 Мальджангарский массив .....	15
2.3 Гулинский массив.....	15
2.4 Этапы щелочного магматизма на Анабарском щите и в его обрамлении .....	16
3 Геохимическая эволюция карбонатитов и рудоносность массивов .....	17
3.1 О рудоносности.....	20
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	22
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	23
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	25

## **ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ:**

В настоящем отчете о НИР применяются следующие определения, сокращения и обозначения:

Томторский, Гулинский, Мальджангарский геологический объект - щелочно-ультраосновной с карбонатитами массивов центрального типа

Интрузивные породы массива - дуниты, пироксениты, мелилититы, ийолиты, нефелиновые сиениты, щелочные сиениты, альбититы и карбонатиты

TR- редкоземельные элементы

Nb, Ta, Zr, Y, TR, Cu, P, Al, Pt – рудоносные элементы к-щелочных комплексов

## ВВЕДЕНИЕ

Щелочные породы – уникальные образования Земли. С щелочными карбонатитовыми комплексами связаны крупнейшие месторождения Nb, Ta, Zr, Y, TR, Cu, P, Al, Pt и других рудных элементов, а также уникальные месторождения самоцветов: чароита, Ст-диоксида, дианита. В лампроитах Австралии добываются алмазы. Сложность процессов их образования вызывали многолетние научные споры, которые не утихают до сих пор. Данные изотопно-геохимических исследований подтверждают мантийную природу источников вещества для пород щелочных карбонатитовых комплексов. Большую роль в петрогенезе глубинных магм в мантии Земли уделяют карбонатитовым расплавам.

Одним из приоритетных направления науки в разделе «Рационального природопользования» является изучение месторождений редкометалльного стратегического сырья.

Целью исследований по теме проекта является получение вещественных характеристик (возрастных, геохимических, изотопных, минералогических) для эталонных щелочных комплексов, проявившихся в различных геодинамических обстановках и сопряженных с мантийными плюмами, обоснование связи с ними стратегического редкометалльного оруденения, разработка моделей магмо- и рудообразования, выявление общих закономерностей в формировании и эволюции соответствующих рудно-магматических систем.

До настоящего время в обрамлении Анабарского щита было известно 2 щелочные провинции – Маймечя-Котуйская с самым крупным в мире Гулинским массивом (1600 км<sup>2</sup>) и Уджинская с суперкрупным месторождением стратегических редких элементов в Томторском массиве и самым большим в мире в нем штоком карбонатитов (40 км<sup>2</sup>). Мы пытаемся обосновать третью провинцию с Мальджангарским массивом редкометалльных карбонатитов. Первые две расположены на одной параллели в Западном обрамлении щита – Маймечя-Котуйская провинция и в Восточном обрамлении – Уджинская провинция. Мальджангарская провинция расположена в ЮВ части самого Анабарского щита.

Целью работы 2019 года было:

1. Уточнение возраста двух этапов магматизма Томторского массива и редкометалльного оруденения, получение дополнительных петрохимических и геохимических данных о составе пород и руд массива, определение мантийных

источников магматизма и его формационного типа, построение генетической модели образования его руд и обоснование новых методов поисков таких руд.

2. Получение данных о возрасте Мальджангарского массива, геохимической характеристики его редкометальных карбонатитов и поведение в них редких элементов
3. Получении новых данных редкометальной характеристики карбонатитов Гулинского массива и данных о мантийных источниках магмы Гулинского и других массивов Маймеча-Котуйской провинции.
4. Обобщение полученных данных по массивам Прианабарских щелочных пород и этапах щелочного магматизма.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В обрамлении Сибирской платформы и на Алданском и Анабарском щитах широко развиты комплексы щелочно-ультраосновных пород с карбонатитами, многие из которых являются месторождениями стратегического сырья, в частности REE, Ta, Nb, Zr, Y. Эти комплексы возникли в разные геологические эпохи и характеризовались различными особенностями структурного и пространственного размещения. Поэтому вопросы, связанные с расшифровкой геологической позиции конкретных массивов и их рудоносности, остаются одними из наиболее острых, как при оценке металлогенического потенциала территории, так и при решении вопросов геодинамического развития Сибирского кратона. Ответы на них в решающей степени зависят от выяснения возраста конкретных массивов и геохимической специализации, на основании которых устанавливается их принадлежность к магматическим формациям той или иной металлогенической эпохи.

### 1 Геологическое положение щелочных массивов Прианабарья

#### и схемы их магматизма

Как было сказано выше в обрамлении Анабарского щита и на самом щите известно три провинции (Рисунок 1): с супер - редкометальным Томторским массивом в Уджинской провинции, самым крупным Гулинским массивов в Маймеча-Котуйской провинции и новыми редкометальными карбонатитами Мальджангарской провинции.

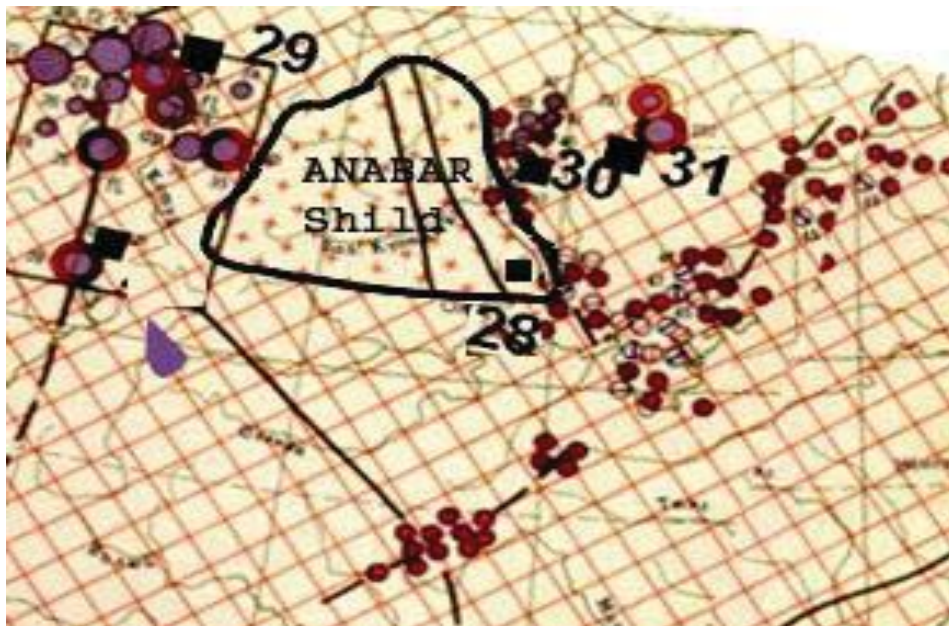


Рисунок 1 - географическое положение щелочных провинций Анабарского щита. 28-Мальджангарский массив, 29- Маймеча- Котуйская провинция, 30-диатремы Вост.Прианабарья, 31- Томторский массив и массив Богдо



### 1.1 Томторский щелочно-ультраосновной массив с редкометальными карбонатитами

Томторский массив щелочных - карбонатитовых пород площадью 250 км<sup>2</sup> - крупнейший карбонатитовый массив мира [15]. Он относится к вулканоплутоническим комплексам центрального типа. По геофизическим данным породы массива прослежены на глубину не менее 10 км. Расположен массив в Вост. Прианабарье (рисунок 2) на Уджинском поднятии и образует с массивом Богдо и двумя нескрытыми массивами Уджинскую провинцию щелочных пород [8,14]. В массиве были обнаружены многочисленные дайки и диатремы К-ультраосновных пород [14]. Проводившиеся в 80 годы интенсивные исследования Nb-TR-карбонатитового месторождения в основном касались рудной толщи, а силикатным породам массива уделялось мало внимания. В основном исследовались ийолит-сиенитовые породы, а остальные относились к фойдит-тингуаитовой серии [1,12,11,15,16], хотя Г.И.Поршневым [14] указывалось, что почти в каждой скважине верхние горизонты сложены разрушенными К-эффузивами пикритового типа. В южном обрамлении Томторского массива описаны диатремы с породами пикрит-альнеитового ряда [8].

В двухтысячные годы авторами в Томторском массиве были обнаружены породы лампроитовой серии [2,4,17] и в настоящее время нами предложена иная интерпретации магматизма Томторского массива.

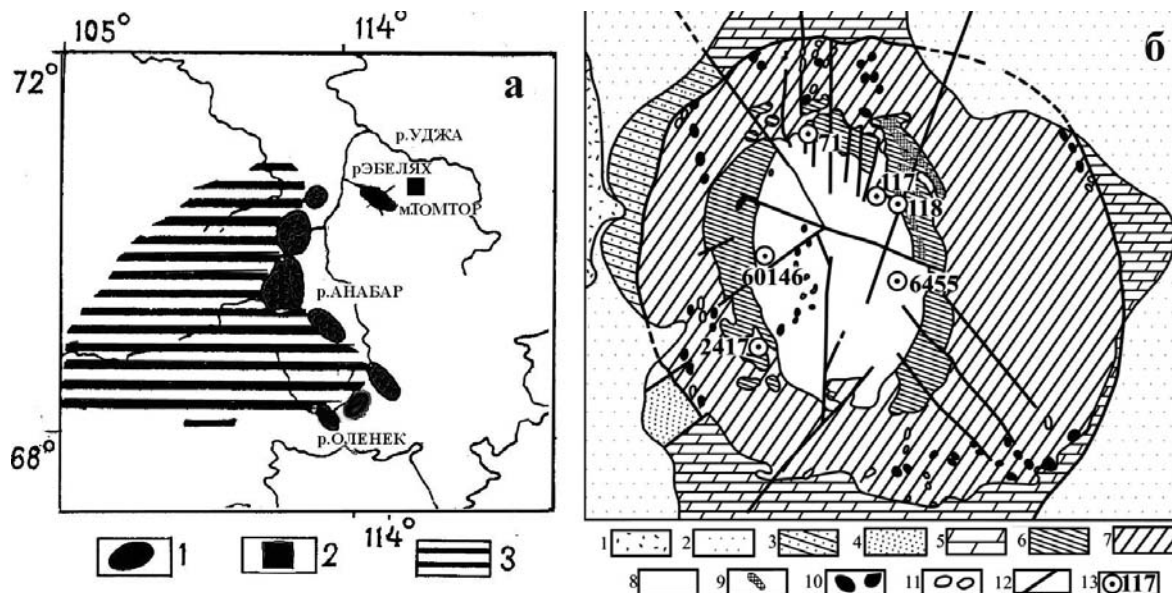


Рисунок 2 - Географическое положение Томторского массива(а) и расположение взятых проб на карте массива (б) Усл. обозначения: а)1- кимберлитовые аномалии Прианабарья, 2- Томторский массив, 3- Анабарский щит. б) 1-5- вмещающие породы, 6 ийолиты, альнетиты, 7 щелочные и нефелиновые сиениты, 8 карбонатиты и руды, 9 магнетит-апатитовые породы, 10 карбонатные брекчии, 11 альнеиты, 12 разломы, 13 № скважин из пород которых делался возраст

### 1.1.1 Геологическое строение массива

На основе изучения более 2000 шлифов и около 1000 силикатных анализов пород Томторского массива нами предлагается следующая схема магматизма Томторского вулканоплутона.

Наиболее ранними породами массива являются оливин-пироксеновые породы, пироксениты и Vt-пироксениты, которые встречающиеся в некоторых скважинах в виде ксенолитов. Следующая порция магмы была мелилит-ийолитового состава, имеющая и жильные аналоги [6]. Далее внедрялись нефелиновые и щелочные сиениты миаскитового состава, занимающие 70% площади массива, притом K-щелочные сиениты значительно преобладают над Na-нефелиновыми сиенитами. Карбонатитовая составляющая отделялась и как от мелилит-ийолитовой так и от сиенитовой магмы, о чем свидетельствуют многочисленные сложные пересечения силикатных и карбонатных пород. Среди карбонатитов выделяются кальцитовые, доломитовые и анкеритовые разновидности [13] и переходные между ними типы. Выделенные Толстовым А.В. апатит-магнетитовые породы, вероятно, являются нельсонитами и связаны с карбонатитовыми породами.

Все эти породы относятся к плутонической истории становления массива. Последующие тектонические движения приводят к выходу пород массива на поверхность и через 300 млн. лет начинается вулканическая история формирования массива, представленная эффузивными потоками, жильными породами, диатремовыми брекчиями и туфовыми образованиями. Наиболее ранние из них - вулканиты, силлы и дайки пикрит-лампроитовой серии, пересекают ранние карбонатиты и сами секутся более поздними карбонатитами, возможно отделившиеся от лампроитовой магмы. По керну скважин эта толща имеет мощность не менее 300 м. Завершается вулканическая деятельность диатремовыми брекчиями и извержениями лампроитовых и эксплозивных образований - рудоносных карбонатно-фосфатных туфов (Fe, P, CO<sub>2</sub>, Nb, TR), которые сохранились в кальдере проседания в центральной части массива. Возможно, что состав этих эксплозивных образований был усложнен фумарольными процессами и процессами выветривания (гетитовыми участками). Вероятно, эксплозивная туфо-вулканическая деятельность происходила и в более молодое P и J время и привела к образованию эффузивно-осадочных отложений, перекрывших массив. Эти образования, по данным А.В.Толстого, содержат до 0,1% Nb. Двухэтапность вулканоплутонической деятельности, связана с циклической работой глубинного плюма, прорвавшегося в наиболее ослабленную рифтовую зону Уджинского поднятия.

## 1.2 Мальджангарский карбонатитовый массив

По всему обрамлению восточного Прианабарья известно сотни диатремовых аномалий, которые сложены К-щелочными породами кимберлитовой формации: щел. пикритами, альнеитами, монтичеллитовыми и мелилитовыми кимберлитами и др. и реже породами лампроитового ряда (Владыкин и др 2006) мезозойского и верхнепалеозойского возраста. Среди них встречаются сильно карбонатизированные разности, которые иногда образуют существенно карбонатные породы, относимые некоторыми авторами к карбонатитам кимберлитовой формации (Владыкин 2006). В некоторых диатремовых брекчиях цемент сложен доломитовыми и кальцитовыми разновидностями. В ЮВ части эндоконтакта Анабарского щита в 2006-2007 году Амакинской экспедицией в были проведены детальные геологические работы Белляхского участка, в результате которых был оконтурен Мальджангарский карбонатитовый массив, к востоку в 5 км и западу в 20 км от него обнаружены разрушенные выходы еще двух массивов и по геофизическим данным предполагается наличие еще 9 мелких массивов (рисунок 3).

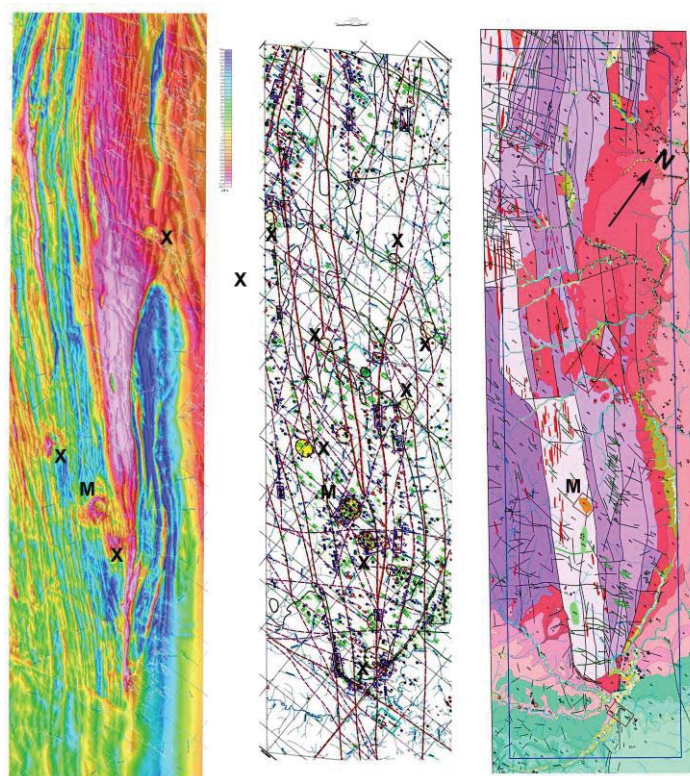


Рисунок 3 - ЮВ – щелочная провинция (Мальджангарская) 9 массивов  
Карты гравитационных, радиогеохимических и аэромагнитных аномалий  
аэрогеохимической съемки (АЛРОСА 2009). М-Мальджангарский, X-другие массивы

Все массивы располагаются в узком блоке протерозойских метаморфических пород (биотит-амфиболовых гнейсов и кристаллосланцев), который вытянут с СЗ на ЮВ. Мальджангарская Th аномалия пробурена 6 скважинами, глубиной до 100 метров, которые вскрыли карбонатитовый массив (рисунок 4)

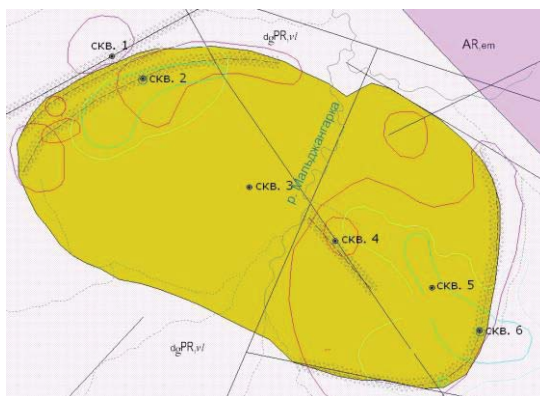


Рисунок 4 - Геологическая схема Мальджангарского массива. (Вмещающие породы: белое-протерозойские гнейсы, красное- архейские гнейсы. Желтое- карбонатиты с номерами скважин)

Массив овальной формы, вытянутый с СЗ на ЮВ. Площадь массива 10,5 км<sup>2</sup>, по длинной оси 4,2 км и по короткой 2.5 км. По СЗ и ЮВ контакту и в центре массива наблюдаются узкие зоны брекчий, которые пробурены 1, 2, 4 и 6 скважинами. Скважина №3 и скважина №5 пробурены в центре массива в «чистых» карбонатитах. Нами взято 200 геохимических проб карбонатитов из керна скважин.. Породы в скважинах в основном представлены карбонатитами различного состава с небольшим количеством сильно карбонатизирован-ных пироксенитов, выделено 4 типа карбонатитов. По времени выделения - это кальции-товые, доломитовые, анкеритовые и сидеритовые. Как видно из рисунке 5, существуют пере-ходные разности между кальцитовыми и доломитовыми, кальцитовыми и анкеритовыми, доломитовыми и анкеритовыми карбонатитами. Наиболее обособленными являются сидеритовые карбонатиты, которые вскрыты в брекчевидных туфовых участках.

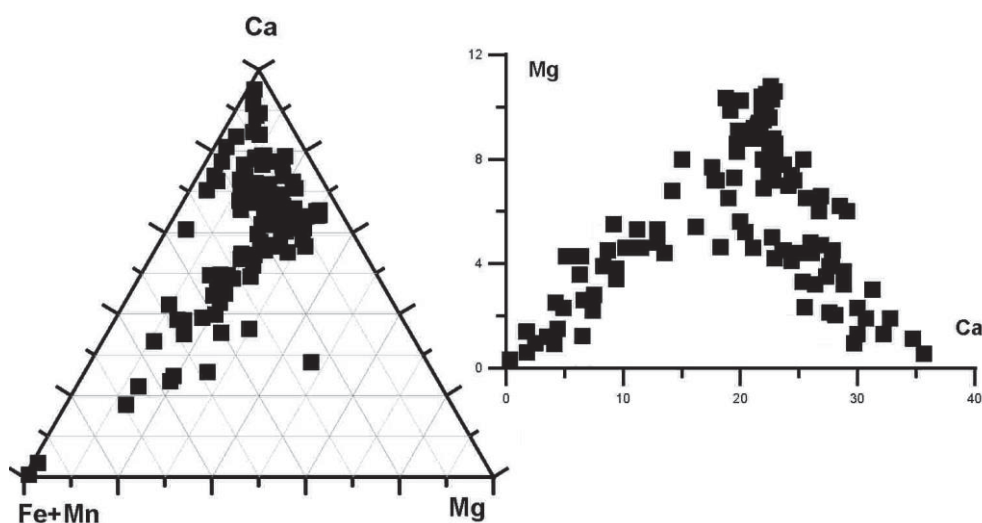


Рисунок 5 - Парные и тройные корреляции петрогенных элементов карбонатитов.

В связи с вулканогенно-интрузивным характером пробуренные карбонатиты Мальджангарского массива являются, вероятно, верхней частью нескрытого массива.

### **1.3 Гулинский ультраосновной-щелочной карбонатитовый массив**

Карта Маймеча-Котуйской провинции и Гулинского массива представлена на рисунке 6 [8] Гулинский массив имеет овальную форму 35x45 км и включая породы массива, перекрытые черверничными отложениями, занимает площадь 1600 км<sup>2</sup>. По геофизическим данным массив имеет трубообразную форму с почти вертикальными контактами. Вмещающие породы массива –щелочные эффузивы, включая и меймичиты. Схема магматизма массива [10], по фазам: 1- дуниты, оливиниты, перидотиты, оливиновые пироксениты, косвиты; 2- мелилитовые породы; 3- мельтейгиты, шонкиниты, нефелиниты, слюдяные пикриты, якупирангиты; 4- ийолиты: Сиениты, кварцевые сиениты, микрошонкиниты; 6- граниты; 7- фоскориты, кальцитовые и доломитовые карбонатиты. Как видно из схемы магматизма в массиве присутствуют породы как натриевой, так и калиевой серии. Все массивы Маймеча- Котуйской провинции находятся в обрамлении Сибирской платформы [8] и только Маган и Ыраас на самом Анабарском щите. Как будет показано ниже, это имеет большое генетическое значение. По изотопным данным они имеют разные мантийные источники.

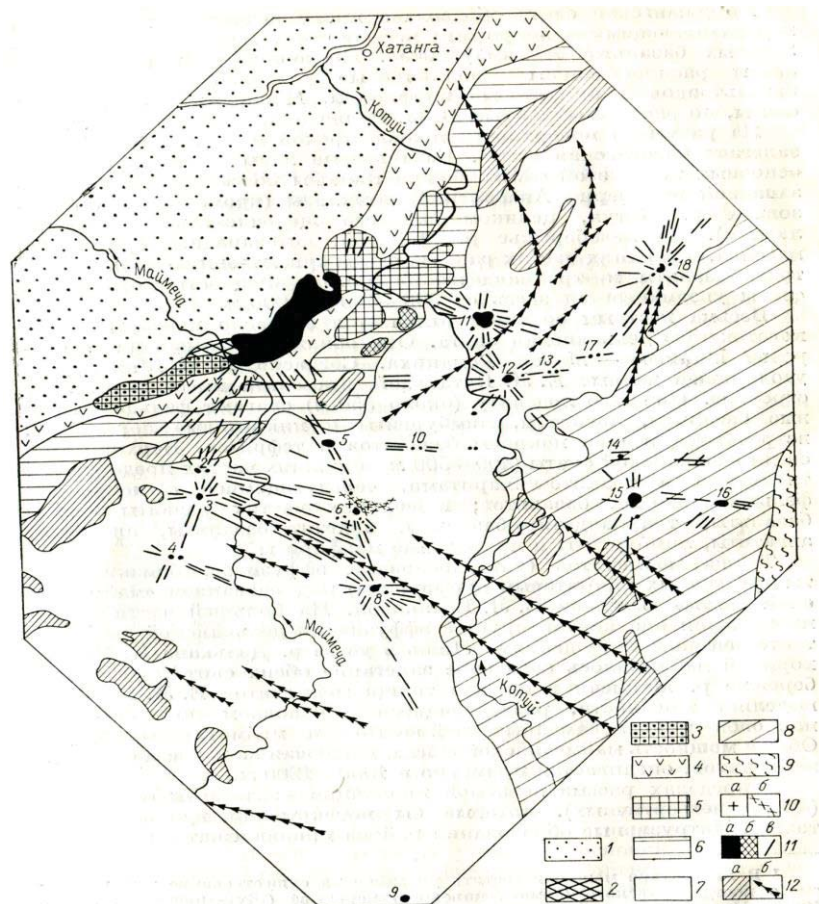


Рисунок 6 - Схематическая геологическая карта Маймеча-Котуйской магматической провинции. Составлена по государственной геологической карте М 1 : 2500000 с изменениями и дополнениями Л.С. Егорова и Н.П. Суриной:

1-мезо-кайнозойские отложения Хатангской впадины; 2-маймечинская свита: меймечиты (с невыделенными силлами того же состава) раннетриасового возраста; 3-дельканская свита: щелочные базальтоиды, трахибазальты, андезиты и другие эффузивы раннетриасового возраста; 4-коготокская свита: базальты и трахибазальты раннетриасового возраста; 5-арыджангская свита: щелочные базальтоиды предположительно раннетриасового возраста; 6-туфогенные отложения основного состава предположительно позднепермского-раннетриасового возраста и терригенные отложения пермского возраста; 7-карбонатные отложения девона, нижнего силура, ордовика и кембрия; 8-карбонатные и терригенные отложения верхнего протерозоя (синия); 9-кристаллические породы архея; 10-кимберлиты предположительно раннетриасового-раннепермского возраста: а-трубки взрыва; б-дайки; 11-ультраосновные-щелочные породы и карбонатиты раннетриасового возраста: а-сложные интрузии (1-Гулинская, 2-Атырдах, 3-Романиха, 4-Чангит, 5-Седете, 6-Далбыха, Урукит и другие интрузии Далбыхской группы, 7-Бор-Урях, 8-Кара-Мени, 9-Ессей, 10-Крестях, 11-Одихинча, 12-Кугда, 13-Сона, 14-Дьогдьоо, 15-Маган, 16-Ыраас, 17-Чурбука, 18-Немакит), б-силлы, в-дайки; 12-долериты раннетриасового и позднепротерозойского возраста: а-силлы, б-дайки

## 2 Возраст массивов и этапы щелочного магматизма

### 2.1 Томторский массив

Томторский массив – 250 км<sup>2</sup>, карбонатитовый шток 40 км<sup>2</sup>

Определение возраста проводились на Томторском массив и ранее [9]. Датировано по породам около 100 проб (K/Ar и Rb/Sr методом) и получены цифры от 800 до 200 млн. лет

со всеми промежуточными разновидностями и авторы считали, что магматизм Томторского массива длился 600 млн. лет. Ошибки датирования вероятно связаны с процессом карбонатизации пород и неравновесностью Sr при его высоких содержаниях 3-10%. Нами в 2016 г получены достоверные данные возраста Томторского массива по цирконам (U-Pb метод)-2 определений (лаб ИГГиД РАН) и по слюдам (Ar/Ar- метод)- 4 определений (ИМГ СО РАН) и выделено 2 этапа магматизма (700 млн. лет) – плутонический и (400 млн. лет) вулканический- к которому относится и редкометальная руда [7]. В настоящее время дополнительно получено U-Pb метод-3 определения (лаб ИГГиД РАН) и по слюдам (Ar/Ar- метод)- 8 определений (ИМГ СО РАН). Еще по цирконам вулканических силикатных пород получено 3 определения лазерной абляцией по цирконам и по руде получено еще 3 цифры 396, 392 и 389 млн лет (лаб. Австралия) и 10 определений по пироклорам со средним значением 400 млн. лет так же лазерной абляцией (лаб. ВСЕГЕИ). Все определения подтверждают правильность выделения нами 2 этапов магматизма (700 млн. лет) – плутонический и (400 млн. лет) вулканический для Томторского массива. Получены первые данные по возрасту массива Богдо из Уджинской провинции, равные 365 млн.л. (лазерная абляция, Австралия).

## **2.2 Мальджангарский массив**

Мальджангарский массив - площадь 10 км<sup>2</sup>. Получены первые данные возраста массива, по 20 апатитам, среднее 166 млн.л (лазерная абляция, лаб. университета Китай) и пироклорам (шримп ВСЕГЕИ) 140-178, среднее так же 166 млн лет. Цифры возраста, продатированные в разных лабораториях и разными методами хорошо совпадают. Учитывая мезозойский возраст карбонатитов (166 млн. лет), который сопоставим с возрастом пикрит-кимберлитовых аномалий можно отнести карбонатиты к кимберлитовой формации и выделить новый юрский этап карбонатитового магматизма Анабарского щита.

## **2.3 Гулинский массив**

Гулинский массив – площадь открытая 600 км<sup>2</sup> (треть массива) общая 1600 км<sup>2</sup> Возраст получен ранее [10] по изотопам свинца равен 250 млн.лет. Нами получен возраст методом лазерной абляцией (Китай) по цирконам, кальцитритам, цирконолитам, перовскитам. Средние значения так же 250 млн. лет.

## 2.4 Этапы щелочного магматизма на Анабарском щите и в его обрамлении

Вокруг Анабарского щита в возрастном отношении было известно 2 этапа щелочного магматизма, благодаря которым были образованы Маймеча-Котуйская и Уджинская щелочные провинции. Еще вокруг восточной части щита известны многочисленные пикрит-кимберлитовые аномалии мезозойского возраста. Благодаря нашим работам теперь можно выделить четыре этапа, притом с массивами разных формационных типов. Наиболее древний возраст а 2 этапа 700 и 400 млн лет получен в Уджинской провинции в Томторском массиве (калиевая формация), затем 250 млн лет в Маймеча-Котуйской провинции (Na- формация) и четвертый этап щелочного магматизма 150-170 млн лет получен нами для Мальджангарской провинции (К-пикрит-кимберлитовая формация).

Последний этап совпадает с возрастом пикрит-кимберлитовых аномалий Восточного

Прианабарья и, вероятно, генетически с ним связан. Относительно формационного типа пород Томторского массива. Ранние исследователи относили его в классической натриевой формации. Мы проанализировали химические составы более 800 проб пород Томторского массива и пришли к выводу, что Томторский массив относится к калиевой формации. Щелочные сиениты, занимающие почти 70% площади массива (рисунок 2) по химическому составу имеют 12-14: K<sub>2</sub>O и 2-4 % Na<sub>2</sub>O. Глядя на рисунок 7 можно заключить, что и другие породы массива имеют калиевую специфику.



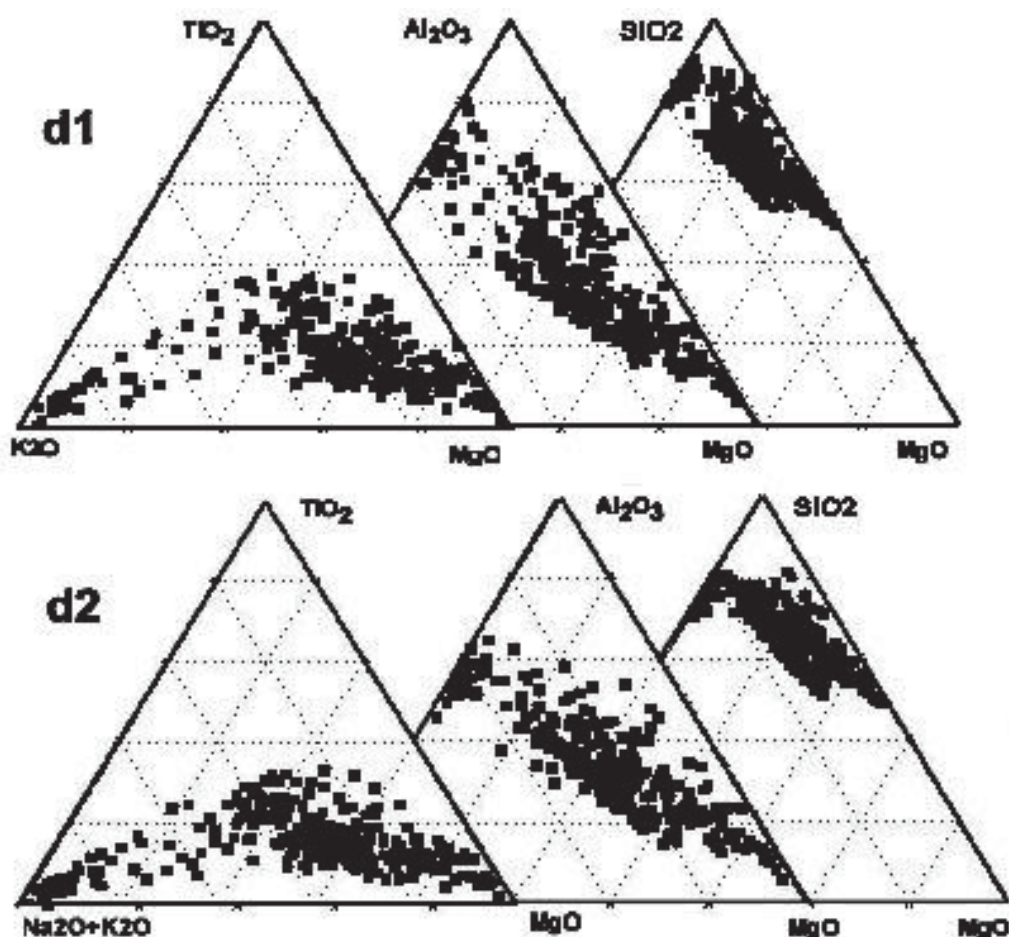


Рисунок 7 - Тройные корреляции породообразующих элементов пород Томторского массива

### 3 Геохимическая эволюция карбонатитов и рудоносность массивов

Нами проанализировано на редкие элементы методом ICP-MS и количественным эмиссионным спектральным анализом более 1000 проб карбонатитов из Томторского, Мальджангарского и Гулинского массивов.

Во всех изученных массивах имеются все главные разновидности карбонатитов (в последовательности их образования) - кальцитовые, доломитовые, анкеритовые и сидеритовые. В Томторском массиве имеются еще (по нашим представлениям [7] эксплозивные туфовые суперредкометалльные руды. Рассмотрим эволюцию некоторых редких элементов в процессе формирования карбонатитов разного минерального и химического состава.

Спектры редкоземельных элементов карбонатитов различного состава Гулинского и Мальджангарского массивов представлены на рисунке 8.

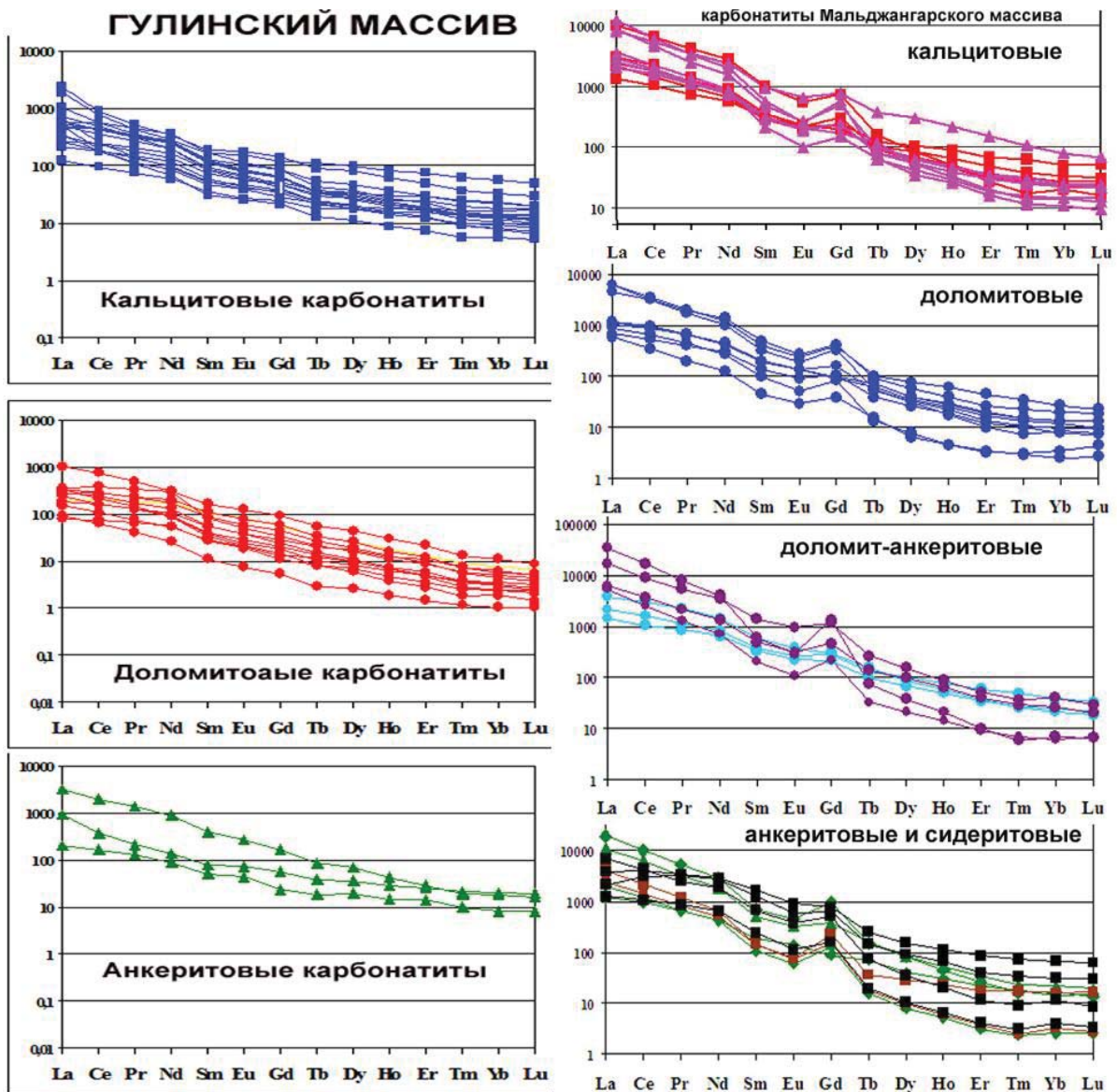


Рисунок 8 - Спектры редкоземельных элементов в карбонатах

Следует отметить отсутствие в карбонатах разного состава европиевой аномалии. В Мальджангарских карбонатах положительная аномалия гадолиния – ошибка анализа, сосчитан не тот изотоп. Содержания легких редких земель в карбонатах Мальджангарского массива выше чем в Гулинском поэтому наклон графиков более крутой. В карбонатах обоих массивов наклоны графиков от кальцитовых карбонатов к сидеритовым и анкеритовым очень схожи, что свидетельствует о их генетическом родстве. То же можно констатировать и для редкоземельных элементов на диаграмме парных корреляций (Рисунок 9).

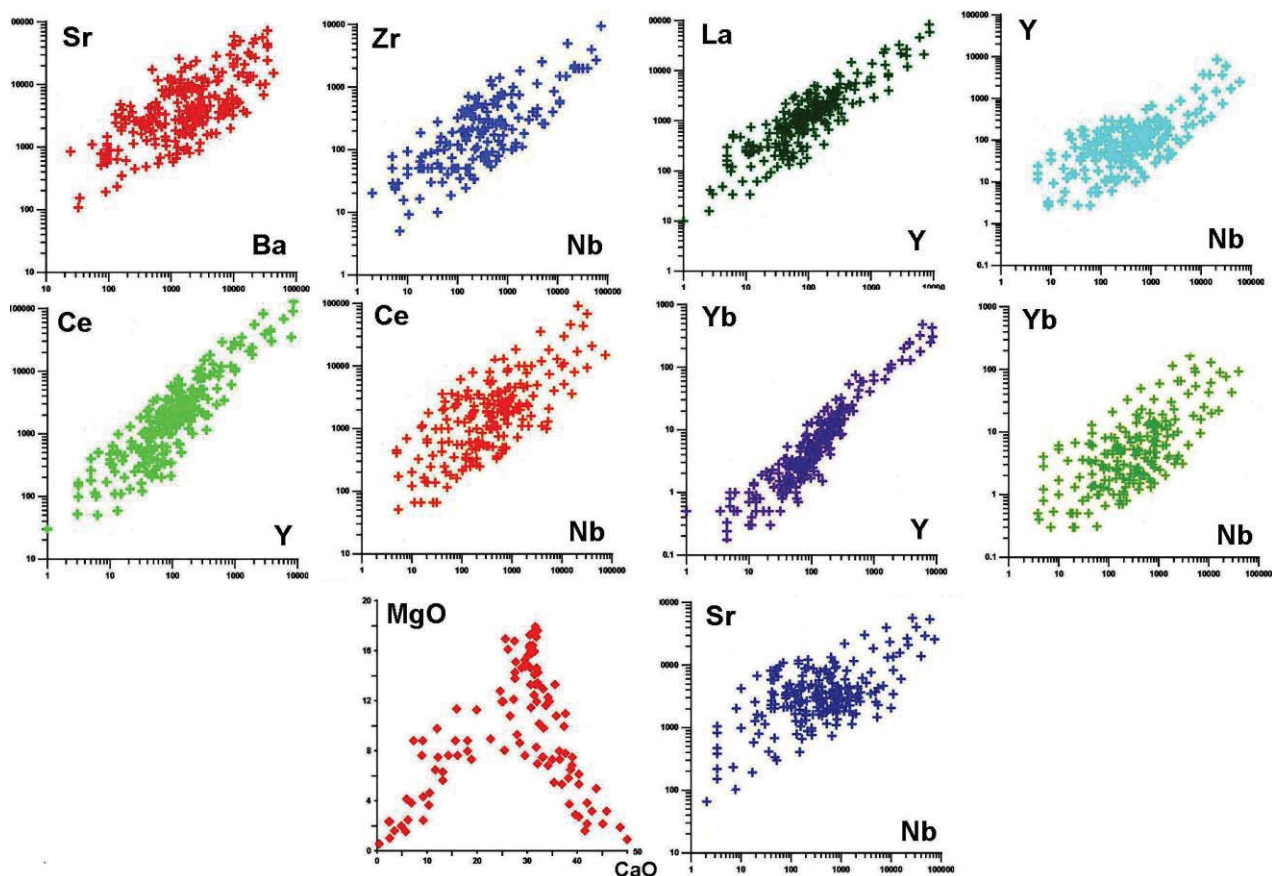


Рисунок 9 - Парные корреляции редкоземельных элементов иттрия и бария со стронцием в карбонатах Мальджангарского массива

Как видно из диаграммы (рисунок 9), наблюдаются прямые корреляционные зависимости между редкометальными элементами и единые тренды соотношений элементов в карбонатах Малджангарского массива.

Поведение редких элементов для карбонатитов разного состава, но в одном массиве довольно однообразные, а между массивами различаются, что связано с их разной формационной принадлежностью (рисунок 10). В карбонатах Гулинского массива наблюдается большая дисперсия содержаний урана. Тория, ниобия и тантала в левой части диаграммы и большая отрицательная аномалия титана. Отрицательные аномалии циркония и гафния характерны для всех карбонатитов изученных массивов.

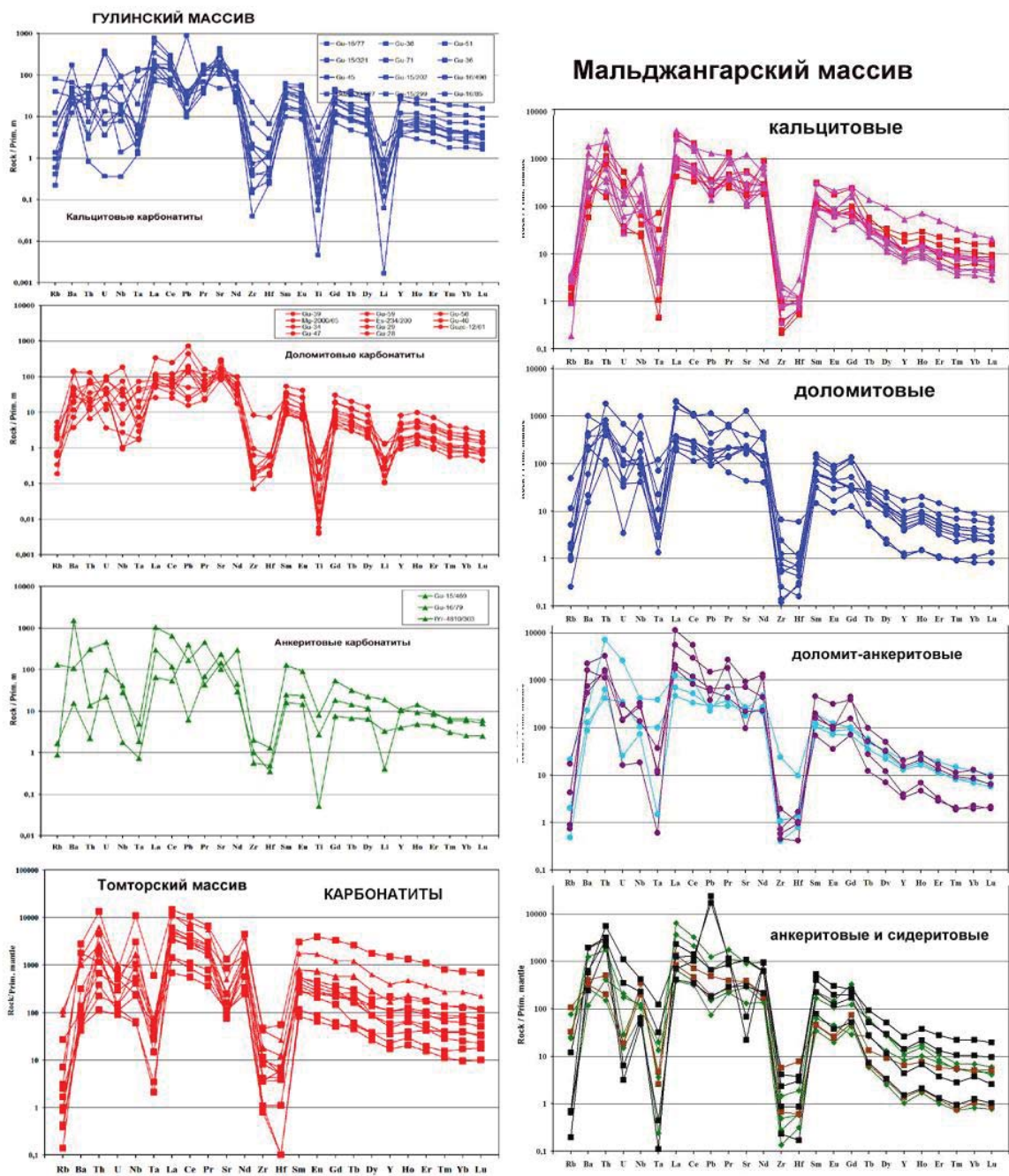


Рисунок 10 - Спайдер диаграммы для карбонатов разного минерального состава из Гулинского, Мальджангарского и Томторского массивов

### 3.1 О рудоносности

**3.1.1 Руды Томторского массива комплексные и содержат суперкрупные концентрации стратегических редких элементов: Nb- до 20%, TR- до 14%, Y- до 1,5%, Sc-до 0,1%, Zn- до 5%, V- до 0,8%, Ba- до 4%, Sr- до 7,5%, Ti- до 8%, Be - до 0,03%. Спектры TR для карбонатов и руд имеют одинаковые конфигурации и отличаются только общими содержаниями. Имеются много гипотез образования Томторских руд [1,11,12,15,16] Мы разрабатываем модель взрывно-туфового образования Томторский**

руд [7], которые сохранились в кальдере проседания в центральной части массива. Возможно, что состав этих взрывчатых образований был усложнен фумарольными процессами и процессами выветривания (гетитовые участки). Взрывчатые рудоносные породы кристаллизовались при извержении из пересыщенных редкими элементами, фосфором и железом водных и газовых продуктов, вылетая в атмосферу вместе с туфовым материалом и осаждались на поверхность в виде горизонтальных полосчатых вулканогенно-осадочных образований. Кристаллизация рудных минералов происходила быстро. Этот вывод подтверждается скрытокристаллическим характером фосфатно-редкоземельных монацитоподобных минералов, и землистой консистенцией пироксенов, которые обрастали вокруг кристаллических затравок, образовавшиеся до извержения. Эти землистые образования сохраняют октаэдрическую форму пироксенов. Большинство кристаллических минералов имеют размер  $< 0.001$  мм.

Туфы слоистые и содержат в большом количестве лапилевые образования, которые кроме поверхностного окисления железистых минералов не подвержены гидротермальной переработки. Эти туфы по структурам и текстурам очень похожи на церусситовые туфы вулканоплутонического комплекса Мушугай Худук в Монголии [6,19] и современные нерудные карбонатитовый туфы вулкана Вультуре в Италии.

Изотопные исследования Томторских карбонатитов и руд [13,7] показали их эндогенный характер, что полностью отвергает осадочную гипотезу и вторичного переотложения. Гипотезу обогащения руд микробами (Жмодик и др.) (покушали редкие элементы и покакали рудой) не стоит и рассматривать. При процентных содержаниях тория и редких элементов и до процента урана микробы бы сдохли через 2 минуты.

**3.1.2 Многие участки карбонатитов Мальджангарского массива являются рудами на Nb, TR, Sr и P. Наивысшие содержания (по данным более 100 анализов) – Nb – 8000 ppm , TR – 4% , Sr – 10%, Y-800 ppm.**

Рудоносность карбонатиты Гулинского массива оценивалась только на апатит и считалось что они не содержат рудных концентраций редких элементов. Однако в наших анализах ICP-MS методом в некоторых карбонатитах встречаются довольно высокие концентрации ниобия. Этот вопрос заслуживает дальнейшего изучения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате работы уточнены возраста двух этапов магматизма Томторского массива и редкометального орудинения, получены дополнительных петрохимических и геохимических данных о составе пород и руд массива, определен его формационный тип, построена генетическая модель образования его руд и обоснованы новых методов поисков таких руд.

Впервые получены данные о возрасте Мальджангарского массива, геохимической характеристики его редкометальных карбонатитов и поведение в них редких элементов

Получены новые данные редкометальной характеристики карбонатитов Гулинского массива. Обобщены полученные данные по массивам Прианабарских щелочных пород и этапах щелочного магматизма.

В геохимическом отношении для карбонатитов Мальджангарского массива отмечено присутствие в значительных количествах характерных для карбонатитов элементов – Sr, Ba, Nb, Ta, P, Y, TR, чем они похожи на карбонатиты Томторского массива. Многие участки карбонатитов являются рудами на Nb, TR, Sr и P. Наивысшие содержания (по данным более 100 анализов) – Nb – 8000 ppm, TR – 4%, Sr – 13%, Y-800 ppm (Владыкин 2008). Наблюдаются гиперболические корреляции между концентрациями Nb, Sr и Ba. В спектре TR отмечается довольно резкое преобладание легких лантаноидов над тяжелыми с довольно крутым наклоном линии спектра, чем они отличаются от спектров TR кимберлитовых аномалий Вост. Прианабарья. В пироксенах карбонатитов обнаружено от 0.3 до 0.9 % хрома. Кроме того, в карбонатитах обнаружен хромит, который не встречается в карбонатитах натровой щелочно-ультраосновной формации.

Таким образом, обнаруженные и предполагаемые выходы карбонатитов, вместе с карбонатитами кимберлитовых диатрем и рудоносным карбонатитовым Мальджангарским массивом можно объединить в карбонатитовую провинцию ЮВ-Прианабарья. Вместе с Маймеча-Котуйской и Уджинской это третья карбонатитовая провинция в обрамлении Анабарского щита. В связи с вулканогенно-интрузивным характером пробуренные карбонатиты Мальджангарского массива являются, вероятно, верхней частью нескрытого массива. Учитывая мезозойский возраст карбонатитов (166 млн. лет), который сопоставим с возрастом пикрит-кимберлитовых аномалий можно отнести карбонатиты к кимберлитовой формации и выделить новый юрский этап карбонатитового магматизма Анабарского щита.

Геохимическим подтверждением отнесения Мальджангарских карбонатитов к пикрит-кимберлитовой формации являются высокие концентрации хрома в пироксенах (соизмеримых с хромдиоксидом) и находки в них самого хромита.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Багдасаров Ю.А. Геохимические особенности карбонатитов и сопровождающих их силикатных пород щелочно-карбонатитового массива Томтор (Вост. Прианабарье, Якутия) // Геохимия. – 1997. – № 1. – С. 10-20.
2. Владыкин Н.В., Лелюх М.И., Толстов А.В, Серов В.П. Лампроиты аномалий Вост. Прианабарья и Томторского массива //Глубинный магматизм, мантийные источники и проблема плюмов. Иркутск.- 2002. – С. 87-101
3. Владыкин Н.В., Miyazaki T., Торбеева Т.С. Карбонатиты и редкометальные руды Вост. Прианабарья //Геохимия и петрология магматических процессов. Иркутск.- 2002. - С.18-21.
4. Владыкин Н.В., Торбеева Т.С Лампроиты Томторского массива (Восточное Прианабарье) // Геология и геофизика. - 2006. – Т. 46. – № 10. – С. 1038-1049.
5. Владыкин Н.В. Петрология К-щелочных лампроит-карбонатитовых комплексов, их генезис и рудоносность // Геология и геофизика. – 2009. – Т. 50. – № 12. – С. 1443-1455.
6. Владыкин Н.В, Ариунбилег С., Мунхцэнгэл Б., Томурхуу Ю., Докучец Э.Ю. Вулканогенные карбонатиты и церусситовые туфы Мушгай-Худук // Mongolian Geoscientist. Geology & metallogeny. – 2013. – V. 22. – P. 74-88 (Геологи Судлал).
7. Владыкин Н.В., Котов А.Б., Борисенко А.С., Ярмолюк В.В., Похиленко Н.П., Возрастные рубежи формирования щелочно-ультраосновного массива Томтор: результаты U-Pb и  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  геохронологических исследований // Доклады академии наук. – 2014. – Т. 454. – № 2. – С. 250-254.
8. Егоров Л.С., Сурина Н.П., Поршнева Г.И., Уджинский рудно-магматический комплекс ультраосновных щелочных пород и карбонатитов. Рудно-магматические комплексы северо-запада Сибирской платформы и Таймыра. Л.: Недра, 1985. – С. 138-154.

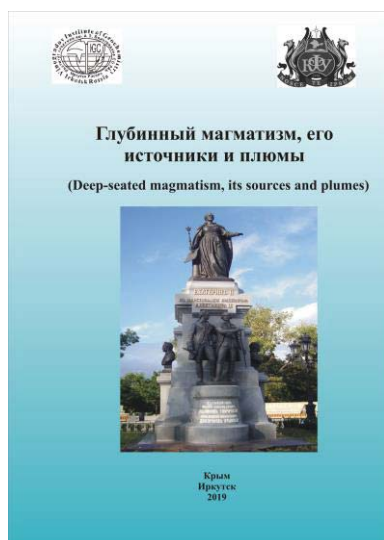
9. Зайцев А.И., Энтин А.Р., Ненашев Н.И. и др. Геохронология и изотопная геохимия карбонатитов Якутиию - Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1992. – 248 с.
10. Когарко Л.Н., Зартман З.Э. Новые данные о возрасте Гулинской интрузии и проблема связи щелочного магматизма Маймеча-Котуйской провинции с Сибирским суперплюмом // Геохимия. – 2011. – № 5. – С.462-472.
11. Кравченко С.М., Беляков А.М., Покровский Б.Г. Геохимия и генезис массива Томтор (север Сибирской платформы) // Геохимия. – 1992. – № 8. – С. 1094-1110.
12. Лапин А.В. Геохимические типы и рудоносность кор выветривания карбонатитов // Геохимия. – 1991. – № 12. – С. 1733-1743.
13. Покровский Б.Г. Коровая контаминация мантийных магм по данным изотопной геохимии.- М.: Наука, 2000. – 225 с.
14. Поршнева Г.И., Степанов Л.Л. Геологическое строение и фосфатность массива Томтор // Щелочной магматизм и апатитность севера Сибири. Л.: НИИГА, 1980. – С. 84-100.
15. Фролов А.А., Толстов А.В., Белов С.В. Карбонатитовые месторождения России.- М: НИА Природа, 2003. – 493 с.
16. Эпштейн Е.М., Данильченко Н.А., Постников С.А. Геология Томторского уникального месторождения // Геология рудных месторождений. – 1994. – № 2. – С. 83-110.
17. Vladykin N.V., Lelyukh M.I., Tolstov A.V. Lamproites of the Anabar region, Northern riming of the Siberian platform // 7 Kimberlite Conferens, Cape-Tovn.- 1998. – P. 946 – 948.
18. Vladykin N.V. Formation types of carbonatites: geochemistry and genesis // Deep-seated magmatism, its sources and plumes. Institute of Geography SB RAS.- 200. – P. 14 –24.
19. Vladykin N.V. Petrology and composition of Mesozoic rare-metal alkaline rocks in the South Gobi Desert, Mongolia // Russian Geology and Geophysics. – 2013. – V. 54. – P. 413–432.
20. Vladykin N.V. K-alkaline rocks and lamproites of Tomtor massif // Geophysical Research Abstracts General Assembly.- 2015. – Vol. 17. – EGU2015-2937, 2015 EGU.



## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Опубликованные статьи

1. Ащепков И.В., Иванов А.С., Костровицкий С.И., Вавилов М.А., Бабушкина С.А., Владыкин Н.В., Тычков Н.С., Медведев Н.С. Мантийные террейны Сибирского кратона: их взаимодействие с плюмовыми расплавами на основании термобарометрии и геохимии мантийных ксенокристов // Геодинамика и тектонофизика. – 2019. – Т. 10. – № 2. – С. 197-245. DOI: [10.5800/GT-2019-10-2-0412](https://doi.org/10.5800/GT-2019-10-2-0412) (WOS)
2. Трубачев А.И., Корольков А.Т., Радомская Т.А. Парагенезисы минералов и формы их выделения – как отражение этапов формирования месторождений медистых песчаников и сланцев // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – Т. 330. – № 9. – С. 72-89. DOI: [10.18799/24131830/2019/9/2257](https://doi.org/10.18799/24131830/2019/9/2257) (WOS)
3. Pashkova G.V., Panteeva S.V., Ukhova N.N., Chubarov V.M., Finkelshtein A.L., Ivanov A.V., Asavin A.M. Major and trace elements in meimechites – rarely occurring volcanic rocks: developing optimal analytical strategy // Geochemistry-Exploration Environment Analysis. – 2019. – V. 19. – № 3. – P. 233-243. DOI: [10.1144/geochem2017-099](https://doi.org/10.1144/geochem2017-099). (ИФ = 1,109 Q4)
4. Резницкий Л.З., Склярв Е.В., Суворова Л.Ф., Бараш И.Г. Твердые растворы карелианита и эсколаита (слюдянский комплекс, Южное Прибайкалье): генезис и возможный петрогенетический индикатор // Геология и геофизика. – 2019. – Т. 60. – № 11. – С. 1542-1564. DOI: [10.15372/GiG2019114](https://doi.org/10.15372/GiG2019114) (англ. DOI: [10.15372/RGG2019114](https://doi.org/10.15372/RGG2019114)) (ИФ = 1,250 Q4)
5. Тарасюк А.С. Щелочно-нефелин-сиенит-гранитная ассоциация Сайбарского массива Минусинского прогиба // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. – 2019. – Т. 28. – С. 120-136. DOI: [10.26516/2073-3402.2019.28.120](https://doi.org/10.26516/2073-3402.2019.28.120) (Russian Science Citation Index, R)
6. Kaneva E.V., Radomskaya T.A., Suvorova L.F. and Mitichkin M.A. (2019) Fluorcarletonite, IMA 2019-038. CNMNC Newsletter No. 51; Mineralogical Magazine, 83, doi: [10.1180/mgm.2019.58](https://doi.org/10.1180/mgm.2019.58)



**Другие показатели проекта 2019 года:** 4 гранта РФФИ

Сотрудниками лаборатории проведен 15 международный

семинар «Глубинный магматизм, его источники и плюмы» в

Крыму и выпущена книга трудов. (18 статей. 356 стр.)

Английский вариант трудов реферируется в Канаде.