

Министерство науки и высшего образования Российской
Федерации (Минобрнауки России)
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, доктор геол.-мин. наук

А. Б. Перепелов

« _____ » _____ 2021 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»
(заключительный)

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.

Научный руководитель темы
д.г.-м.н.

Н.В. Владыкин

подпись, дата

Иркутск 2021

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

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

.

РЕФЕРАТ

Отчет 31 с., 12 рис., 1 таб., 14 источн., 1 прил.

АЛДАНСКИЙ И АНАБАРСКИЙ ЩИТ, КАРБОНАТИТЫ, АБСОЛЮТНЫЙ ВОЗРАСТ, ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ТИПЫ КАРБОНАТИТОВ

Объекты исследования: К-щелочные лампроит-карбонатитовые комплексы Анабарского (массивы Томторский, Гулинский, Мальджангарский) и Алданского щитов (массивы- Мурунский, Хананский, Селигдарский, Арбарастахский и Ингилинский)

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 редкометального оруденения, разработка моделей магмо- и рудообразования, выявление общих закономерностей в формировании и эволюции соответствующих рудно-магматических систем.

Получены новые данные возраста карбонатитов. На Анабарском щите выделяется 4 возрастных цикла карбонатитового магматизма. В Восточном Прианабарье (Томторский массив) 2 этапа щелочного карбонатитового магматизма 700 млн. лет - интрузивные породы и карбонатиты и 400 млн. лет- вулканические породы (пикриты, лампроиты) и explosивно-туфовые карбонатитовые редкометальные руды. В СЗ части обрамления щита в Маймеча- Котуйской провинции этап щелочно-карбонатитового магматизма (Гулинский массив) по полученным нами данным по бадделииту датируется в 250 млн. лет. И в ЮВ окончании Анабарского щита в Мальджангарской провинции возраст щелочно-карбонатитового магматизма определяется в 150-180 млн. лет (среднее значение для Мальджангарского массива 166 млн. лет). На Алданском щите можно выделить 4 эпохи щелочно-карбонатитового магматизма: Центрально Алданские – Ханинская 2700 млн. лет и Селегдарская 1880 млн. лет, Восточно Алданская эпоха (Ингили-Арбарастахская) 654 млн. лет и мезозойская Западно-Алданская (Мурунская) 135 млн. лет.

На основе 500 анализов концентрации редких элементов и их поведения в карбонатитах из 50 массивов СССР, Монголии мы выделили 3 геохимических типа карбонатитов и рассчитали средние содержания этих элементов в карбонатитах разного состава. Внутри типов спайдер-диаграммы аналогичны, а между разными типами значительно отличаются. Полученные данные необходимо использовать при определении типа рудоносности карбонатитов и оценки масштабов месторождений редких элементов.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Реферат	3
Определения, обозначения и сокращения	5
Введение	6
1 Изотопное датирование карбонатитовых комплексов Анабарского и Алданского щита.....	8
1.1 Анабарский щит	8
1.1.1 Томторский массив	8
1.1.2 Гулинский ультраосновной-щелочной карбонатитовый массив	10
1.1.3 Мальджангарский карбонатитовый массив	12
1.2 Алданский щит	13
1.2.1 Мурунский ультракалиевый карбонатитовый комплекс	13
1.2.2 Ханинский массив	16
1.2.3 Селигдарский массив	17
1.2.4 Арбарастахский массив	17
1.2.5 Ингилинский массив	20
1.3 Сопоставление возраста карбонатитового магматизма Анабарского и Алданского щитов	20
2 Формационно-геохимические типы карбонатитов Анабарского и Алданского щитов	21
Заключение	26
Список использованных источников	27
Приложение А	29

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ:

В настоящем отчете о НИР применяют 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

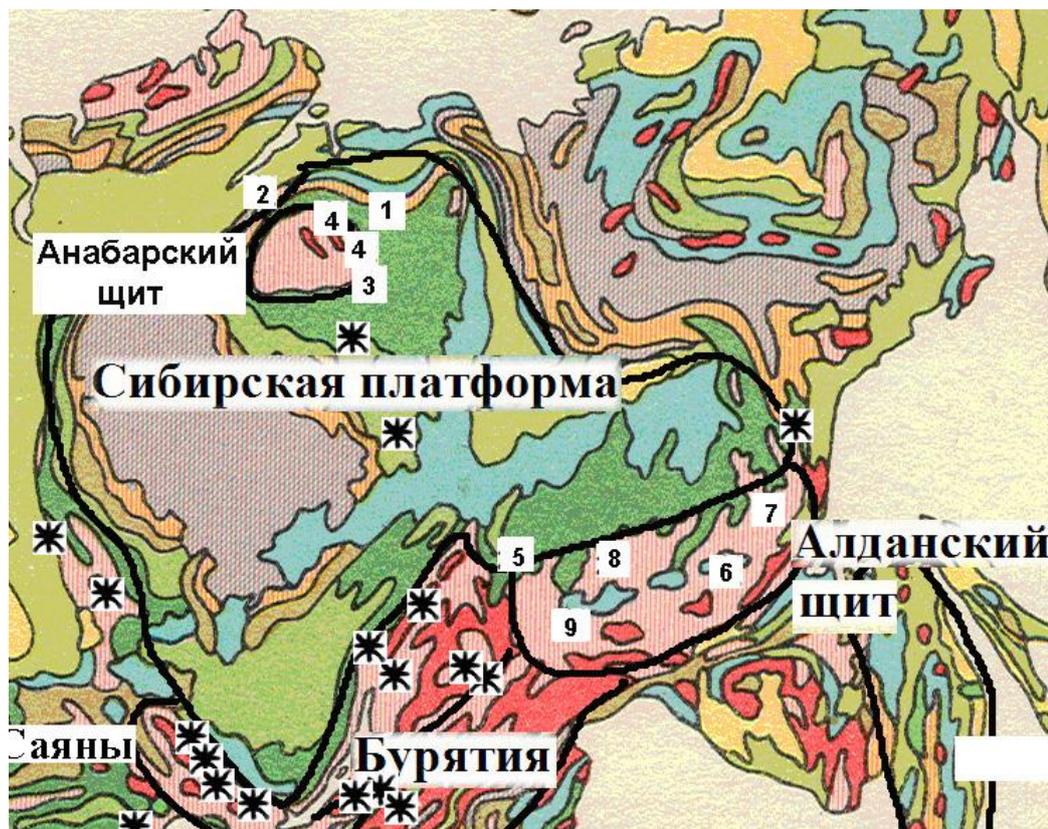
Nb, Ta, Zr, Y, TR, Cu, P, Al, Pt – рудоносные элементы к-щелочных комплексов

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-диопсида, дианита. В лампроитах Австралии добываются алмазы. Сложность процессов их образования вызвали 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.

Выходы нижней архейской части Сибирской платформы в виде Анабарского щита на Севере платформы и Алданского щита на ее юге показаны на рисунке 1.



Условные обозначения: звездочка - щелочные массивы в обрамлении платформы.

Карбонатитовые массивы на щитах: 1- Томтор, 2- Гули, 3- Маджангарский, 4- кимберлитовые диатремы Вост. Прианабарья, 5- Мурунский, 6- Арбарастах, 7- Ингили, 8- Селигдар, 9-Хани.

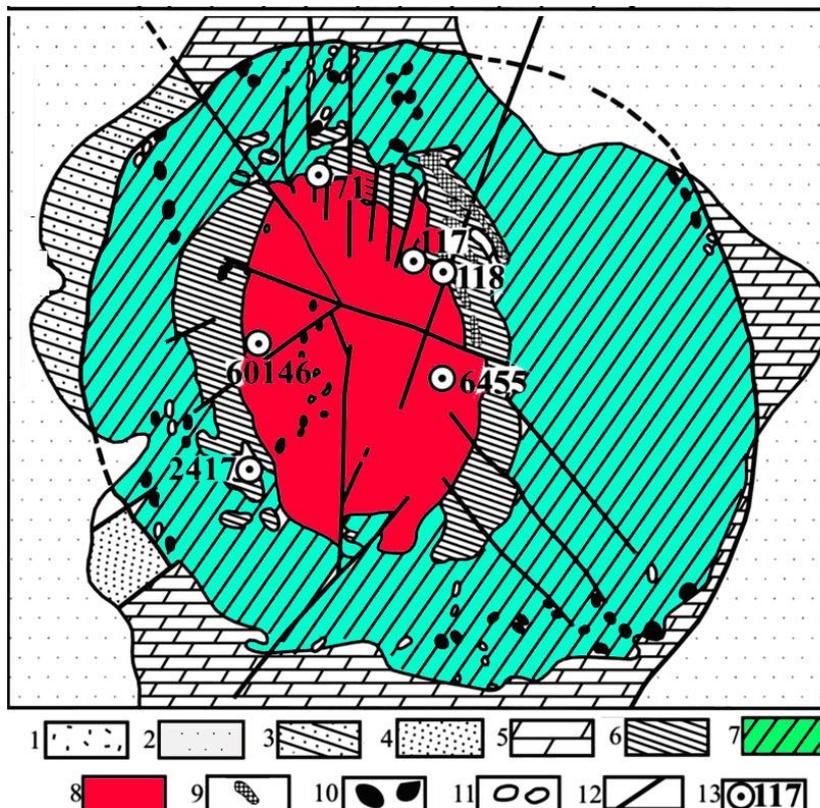
Рисунок 1 – Расположение массивов с карбонатитами на Анабарском и Алданском щите

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 Изотопное датирование карбонатитовых комплексов Анабарского и Алданского щита

1.1 Анабарский щит

1.1.1 Томторский массив



Томторский массив: 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 определялся возраст.

Рисунок 2 – Геологическая карта Томторского массива и расположение взятых проб на возраст

Томторский массив щелочных – карбонатитовых пород (площадью 250 км – крупнейший карбонатитовый массив мира, с самым большим штоком карбонатитов (40 км²). Он относится к вулканоплутоническим комплексам центрального типа. По геофизическим данным породы массива прослежены на глубину не менее 10 км. Геологическая карта массива представлена на рисунке 2. Расположен массив в Вост. Прианабарье на Уджинском поднятии и образует с массивом Богдо и двумя нескрытыми массивами Уджинскую провинцию щелочных пород. Проведенные нами новое датирование пород массива по цирконам указывает на двухэтапность становления массива с возрастом 700 и 400 млн. лет [3]. На массиве почти нулевая обнаженность и весь материал получен по керну скважин. Нами опробован керн более 50 старых скважин в поселке Амакинский и Эбелях, а так же материал, предоставленный ранними исследователями Томторского массива Г.И. Поршневым и Полярной экспедицией г. Ломоносов. На основе изучения более 2000 образцов и их шлифов и около 1000

силикатных анализов пород Томторского массива нами предложена новая схема магматизма Томторского вулcano-плутона [3]. При изучении кернa скважин Томторского массива нами были обнаружены породы лампроитовой серии [1]. Самыми ранними породами массива являются оливин-пироксеновые породы, пироксениты и Вт-пироксениты, которые встречающиеся в некоторых скважинах в виде ксенолитов. Следующая порция магмы была мелилит-ийолитового состава, имеющая и жильные аналоги. Далее внедрялись щелочные и нефелиновые сиениты миаскитового состава, занимающие 70 % площади массива, притом К-щелочные сиениты ($K_2O=12\%$, $Na_2O=3\%$) 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, кальцит-доломитовые, доломитовые, анкеритовые и сидеритовые разновидности. Апатит-магнетитовые и апатит-слюдистые породы, вероятно, являются нельсонитами и связаны с карбонатитовым комплексом. Все эти породы относятся к плутонической истории становления массива с возрастом 700 млн. лет. Последующие тектонические движения приводят к выходу пород массива на поверхность и через 300 млн. лет начинается вулканическая история формирования массива, представленная эффузивными потоками, силами и жильными породами, диатремовыми брекчиями и рудоносными 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. Силикатные породы подвергнуты процессам карбонатизации. В лампроитах первичные оливины и лейциты полностью замещены кальцитом. От них остались только очертания форм кристаллов. По керну скважин эта толща имеет мощность не менее 400 м. Завершается вулканическая деятельность диатремовыми кимберлитоподобными брекчиями и извержениями лампроитовых и эксплозивных образований – рудоносных карбонатно-фосфатных туфов (Fe, P, CO_2 , Nb, TR), которые сохранились в кальдере проседания в центральной части массива. Возможно, что состав этих эксплозивных образований был усложнен фумарольными процессами и процессами выветривания (гетитовые участки). Руды Томторского массива комплексные и содержат: 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 карбонатитов и руд имеют одинаковые конфигурации и отличаются только общими содержаниями. Двух этапность вулcano-плутонической деятельности, связана с циклической работой глубинного плюма в рифтовой зоне Уджинского поднятия. Данных по изотопии Sr, C и O [9] и наши данные по изотопии Sr-Nd свидетельствуют о эндогенном происхождении всех пород массива. Эти данные отвергают модели осадочного переотложения и зон вторичного обогащения образования рудного комплекса массива и не противоречат его вулcano-туфогенной природе.

Определение возраста проводились на Томторском массиве и ранее [6]. 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 неравномерностью Sr при его высоких содержаниях 3-10 %. Нами 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 редкометалльная руда [3]. 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. Нами получены первые данные по возрасту массива Богдо из Уджинской провинции, равные 365 млн. лет (лазерная абляция, Австралия).

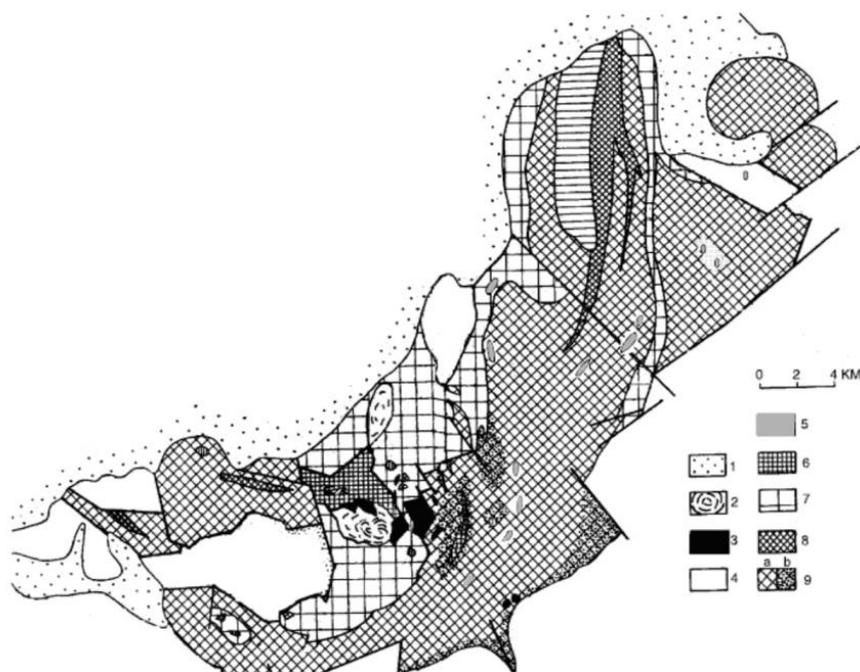
1.1.2 Гулинский ультраосновной-щелочной карбонатитовый массив

Площадь массива обнаженная 600 км² (треть массива) вместе с перекрытыми осадками площадь пород массива 1600 км². Карта Гулинского массива представлена на рисунке 3 Гулинский массив имеет овальную форму 35x45 км и включая породы массива, перекрытые четвертичными отложениями, занимает площадь 1600 км². По геофизическим данным массив имеет трубообразную форму с почти вертикальными контактами. Вмещающие породы массива – щелочные эффузивы, включая и меймичиты.

Схема магматизма массива, 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.

Карбонатиты образуют два крупных выхода Южный и Северный. Еще в 60 году по геологическим данным Л.С.Егоров доказывал магматический генезис этих карбонатитов и фоскоритов.

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 [5] и только Маган и Ыррас на самом Анабарском щите. Этот факт имеет большое генетическое значение. По нашим изотопным данным эти массивы (Маган и Ыррас) имеют с другими массивами Маймеча- Котуйской провинции разные мантийные источники.



1- осадки мезозойские; 2- карбонатитовый штрок; 3-мелилитовые породы; 4- маймечиты; 5- дайки щелочных и нефелиновых сиенитов и гранитов; 6- ийолиты, якупирангиты; 7-меланефелиниты, пикриты; 8 – косвиты; 9 – дуниты.

Рисунок 3 – Схема геологического строения Гулинского массива (по Л.Н.Когарко)

Возраст получен ранее [7] по изотопам свинца равен 250 млн. лет. Нами получен возраст методом лазерной абляции (Китай) по цирконам, кальцитритам, перовскитам. Средние значения так же 250 млн. лет. Новые определения возраста по нашим бадделиитам получены в университете г. Осло, Норвегия представлены на рисунке 4. Так же равен 250 млн. лет (статья находится в печати).

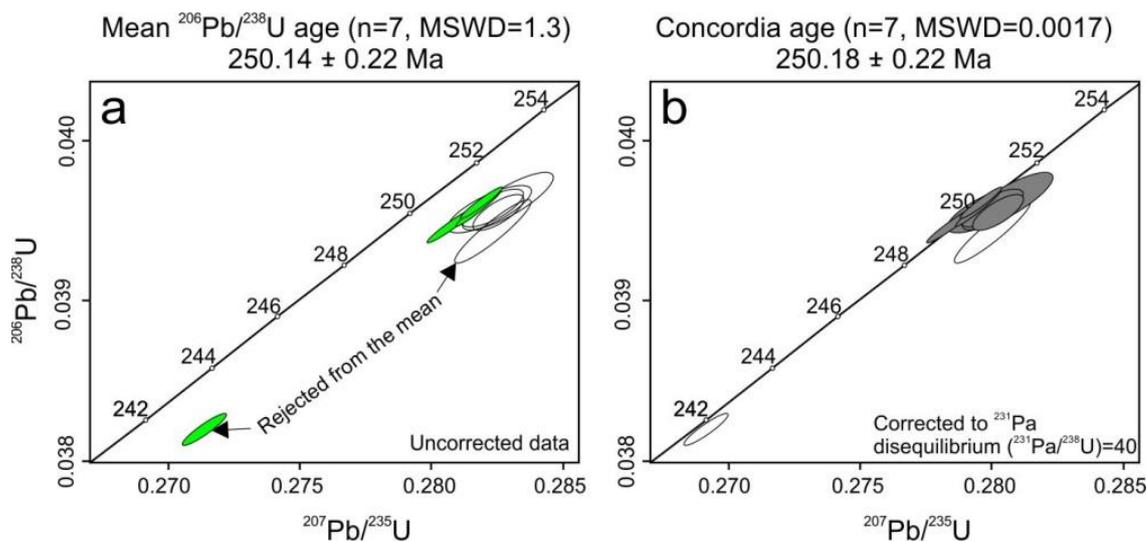
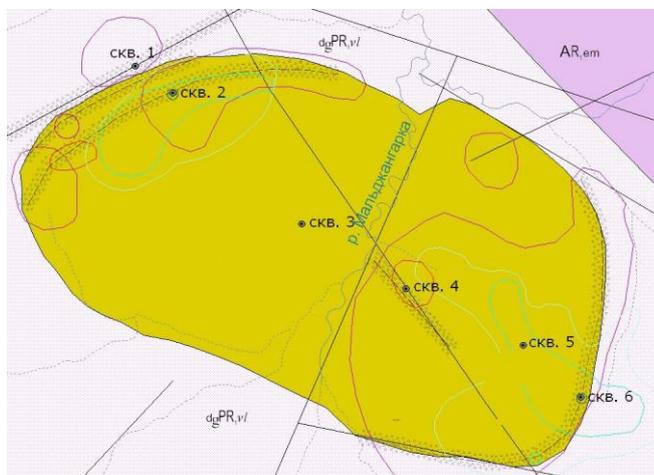


Рисунок 4 – Абсолютный возраст, полученный по бадделииту из кальцитового карбоната

1.1.3 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 [14] мезозойского и верхнепалеозойского возраста. Среди них встречаются сильно карбонатизированные разности, которые иногда образуют существенно карбонатные породы, относимые некоторыми авторами к карбонатитам кимберлитовой формации [14]. 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.

Мальджангарская Th аномалия пробурена 6 скважинами, глубиной до 100 метров, которые вскрыли карбонатитовый массив (рисунок 5).



Вмещающие породы: белое-протерозойские гнейсы, красное- архейские гнейсы. Желтое- карбонатиты с номерами скважин.

Рисунок 5 – Геологическая схема Мальджангарского массива

Массив овальной формы, вытянутый с СЗ на ЮВ. Площадь массива 10,5 км², 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 карбонатизированных пироксенитов, выделено 4 типа карбонатитов. По времени выделения - это кальций-товые, доломитовые, анкеритовые и сидеритовые. Как видно из рисунка 5, существуют переходные разности между кальцитовыми и доломитовыми, кальцитовыми и анкеритовыми, доломитовыми и анкеритовыми карбонатитами. Наиболее обособленными являются сидеритовые карбонатиты, которые вскрыты в брекчевидных туфовых участках.

В связи с вулканогенно-интрузивным характером пробуренные карбонатиты Мальджангарского массива являются, вероятно, верхней частью нескрытого массива. Об этом свидетельствует и отсутствие интрузивных силикатных пород, которые вероятно залегают на большей глубине. В карбонатитах обнаружены только небольшие ксенолиты измененных пироксенитов.

Получены первые данные возраста массива, по 23 апатитам, среднее 166 млн. лет (лазерная абляция, лаб. университета Китай) и пироксерам (Шримп ВСЕГЕИ) 140-178, среднее так же 166 млн. лет. Цифры возраста, датированные 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.

1.2 Алданский щит

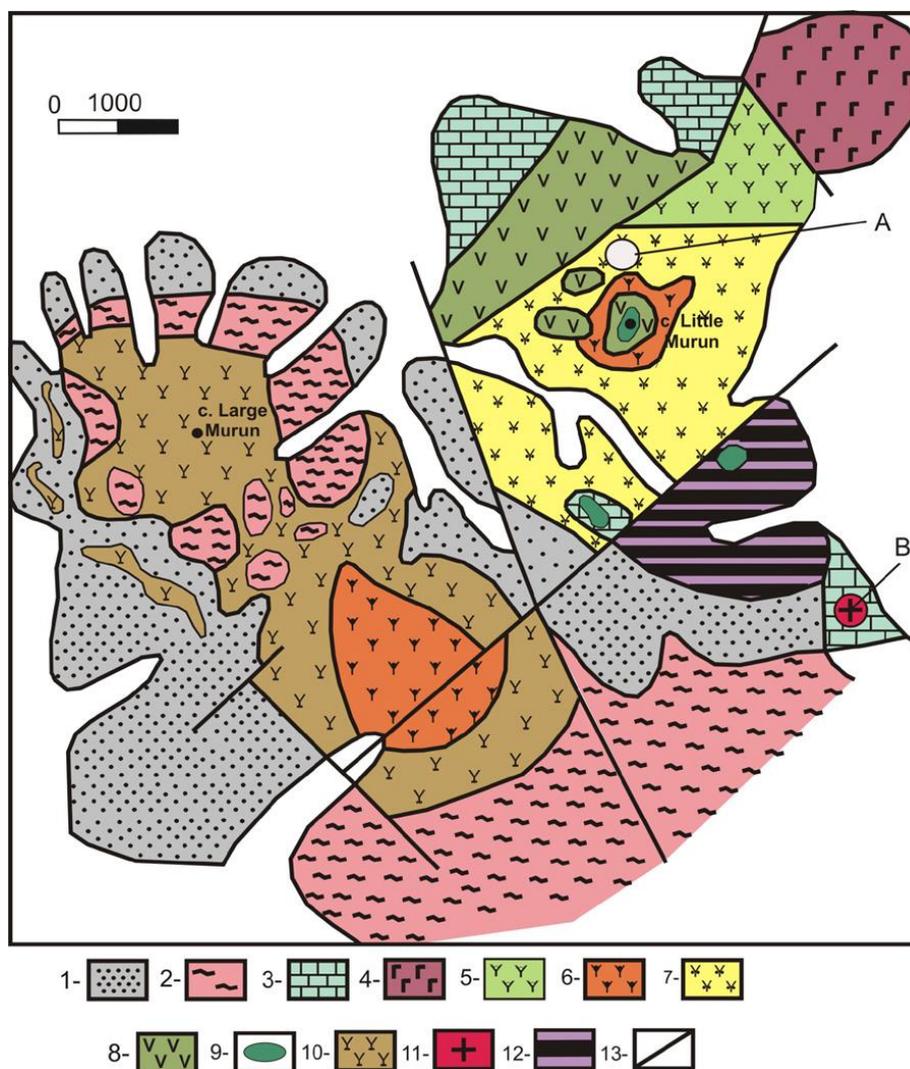
На Алданском щите имеются 5 проявлений пород карбонатитовых комплексов. В Западной части щита - это Мурунский ультракалиевый карбонатитовый комплекс, в Центральной части - Селигдарское проявление карбонатитов и Ханинский массив, а в Восточной части – Арбарастахский и Ингилинский массивы. Нами детально изучались все 5 проявлений карбонатитов.

1.2.1 Мурунский ультракалиевый карбонатитовый комплекс

Мурунский массив расположен в ЮЗ части Алданского щита, его размер 150 км². В массиве два выхода Большемурунский и Маломурунский (рисунок 6). Далее речь будет идти о Маломурунском выходе. Это самый крупный в мире щелочной массив с калиевой агпаитностью. Нами разработана новая полная схема магматизма массива:

1. Ранняя фаза- К-ультраосновные-щелочные породы расслоенной серии: Vt-пироксениты (Vt+Py+Ap), лейцитовые шонкиниты (Vt+Py+Lц), калишпатовые шонкиниты

(Bt+Py+KFsp), оливиновые лампроиты (Ol+Bt+Py+Lц+KFsp), К-ийолиты (Ks+Bt+Py+Gr). В Bt-пироксенитах встречены ксенолиты оливин-шпинелиевых и оливин-монтчеллит-флогопит-пироксеновых пород с мелилитом. Эти породы проявлены в СВ части массива (Мартовская аномалия).



Условные обозначения. Вмещающие породы: 1- кварцевые песчаники, 2- гнейсы, 3- доломиты. Породы массива: 4- щелочно-ультраосновные породы, 5- лейцитовые сиениты, 6- нефелиновые сиениты, 7- щелочные сиениты, 8- вулканические лейцитовые фонолиты, 9- эгириниты, 10- пуласкиты, 11- щелочные граниты, 12- породы чароит-карбонатитового комплекса, 13- разломы.

Рисунок 6 – Геологическая карта Мурунского массива

2. Главная фаза - расслоенная серия сиенитов: лейцитовые сиениты- (Bt+Py+Lц), кальсилитовые сиениты (KFsp+Ks), калишпатовые сиениты (Bt+Py+KFsp), лейкосиениты (KFsp). Они образуют переслаивающиеся тела, мощностью 1-3 м. Переслаиваются не только сиениты разного минерального состава, но и разной текстуры и меланократовости. Последними кристаллизовались дайки и штоки щелочных гранитов. Породы главной фазы занимают более 50% площади массива и располагаются в центральной части Маломурунского массива.

3. Следующая фаза массива - вулканическая. Она представлена лавами и покровами, туфо-лавами, лаво-брекчиями лейцитовых фонолитов, лейцититов и лейцитовых лампроитов. С этой фазой внедрения связаны различные дайковые породы: лейцитовые тингуаиты, Vt-Ru санидиновые лампроиты и лампрофиры: Вулканические породы располагаются в центре и в Северной части массива, а дайки по всему массиву.

4. Последняя фаза массива представлена расслоенным комплексом силикатно-карбонатных пород чароит-карбонатитовой серии. Они представлены микрокалишпатитами, калишпат-пироксеновыми породами, чароитовыми породами и карбонатитами (бенстонитовыми, кальцитовыми и кварц- кальцитовыми с графическими структурами). Породы этой серии занимают площадь в 10 км² в ЮВ приконтактной части массива. Самыми поздними образованиями массива являются гидротермальные жилы и зоны с такими рудными компонентами: U, Th, Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Mo, Ti, Nb.

Наиболее ранними из карбонатитов являются уникальные бенстонитовые, которые содержат 30% BaO и 7% SrO, следующие кальцитовые карбонатиты, в которых в небольших количествах известен чароит и последние – кварц- кальцитовые с графическими структурами.

Так как Мурунский массив интенсивно изучался в 80-годы, его возраст датировался K/Ar методом [8] и разброс значений этого возраста составлял от 100 до 180 млн. лет. Нами проведена датировка почти всех разновидностей пород Мурунского массива (таблица 1) Ar/Ar методом по слюдам и калиевым минералам пород чароитового комплекса в лаборатории ИЗК СО РАН [11].

Получилась интересная картина. Почти все породы Мурунского массива имеют близкие значения абсолютного возраста со средним значением 135 млн. лет. И только гидротермальные кварцевые жилы более молодые 123 млн. лет. Эти значения возраста подтверждают наши представления

Об образовании пород Мурунского массива не путем отдельных внедрений разновозрастных порций щелочной магмы, а об их образовании в процессе расслоения одной порции магмы на отдельные порции при не смесимости их составов при остывании магмы. Возможно, это и является причиной образования такого нестандартного по минеральному парагенезисам массива с чароитовыми породами и бенстонитовыми карбонатитами, которых нет больше нигде в мире.

Таблица 1 – Возраст пород Мурунского комплекса (Ar/Ar методом)

	млн. лет
1. Ранняя фаза - куммулятивная часть- оливин-шпинелевые породы оливин-пироксен-флогопит-монтичеллитовые породы (Bt) Расслоенный комплекс ультраосновных ультракалийевых пород: Bt-пироксениты (Ap+Bt+Py), (Bt) Ol- лампроиты (Ol+Bt+Py+Плц+Fsp), (Bt) лейцитовые фергуситы (Плц+Bt+Py) шонкиниты (Fsp+Bt+Py) (Bt)	134,26 ± 0,32 133,14 ± 0,45 135,17 ± 0,91 134,78 ± 0,45
2. Главная фаза: расслоенный комплекс Плц, Fsp-Ks, Bt-Py-Fsp сиенитов (Bt) кварцевые сиениты, дайки и штоки щелочных гранитов (микроклин)	135,76 ± 0,68 130 ± 0,71
3. Вулканическая фаза: расслоенный поток Плц-мелафонолитов, лейцититов (Bt) лава Плц- лампроитов, (Bt) Дайковый комплекс –Плц- тингуаиты, рихтерит-санидиновые лампроиты, (Bt) эвдиалитовые луювриты. (микроклин)	136,10 ± 0,48 137,66 ± 0,70 136,06 ± 0,54 136,60 ± 0,88
4. Поздняя фаза: полосчатый расслоенный комплекс калиевых силикатно-карбонатных пород:- микрокалцишпатиты, (микроклин) Карбонатиты: бенстонитовые (микроклин) (тинаксит) кальцитовые (микроклин) кварц-кальцитовые (микроклин) чароитовые породы (микроклин) (франкаменит) (токкоит) (К-арфведсонит) (федорит) (тинаксит)	129,43 ± 0,87 128,92 ± 0,80 135,87 ± 0,45 129,81 ± 0,68 128,42 ± 0,59 135,79 ± 0,42 137,55 ± 0,46 135,93 ± 0,49 133,14 ± 0,84 133,11 ± 0,34 133,0 ± 3,2
Самыми поздними образованиями массива являются гидротермальные жилы Кварц- Fsp- брукитовые жилы (микроклин)	123,40 ± 1,5

1.2.2. Ханинский массив

Ханинский массив (выход Укдуска) расположен в Центральной части БАМа, в 10 км восточнее п. Хани в 100 м от железной дороги. Его площадь 10 км². На массиве разведано апатитовое месторождение в биотитовых пироксенитах. Массив сложен на 90 % биотитовыми пироксенитами с апатитом и дайковым комплексом, который представлен шонкинитами, щелочными сиенитами, гранитами и карбонатитами. Все породы секутся протяженной дайкой лампрофиров- оливиновых лампроитов. Многочисленные

определение возраста, которые проводились сотрудниками ВСЕГЕИ в 80 годы К/Аг методом дали значения 1800 млн. лет. Этим же методом по нашим образцам оливиновых лампроитов И. Махоткиным в ИГЕМе получен возраст так же 1800 млн лет. Затем нами по цирконам этого же оливинового лампроита получился возраст 2700 млн. лет (Шримп, ВСЕГЕИ) [2] и А.Б. Котовым в цирконе из дайки шонкинитов так же получился возраст 2700 млн. лет [10]. Получается, что Ханинской К-щелочной массив с карбонатитами – один из древнейших щелочных пород и карбонатитов мира! Дайка карбонатитов сечет биотитовые пироксениты. Карбонатиты силикатно- карбонатные. Они состоят из полос микроклина с пироксеном и полос кальцита, пироксена, апатита и граната. По химизму породы Ханинского массива относятся к К-щелочному комплексу.

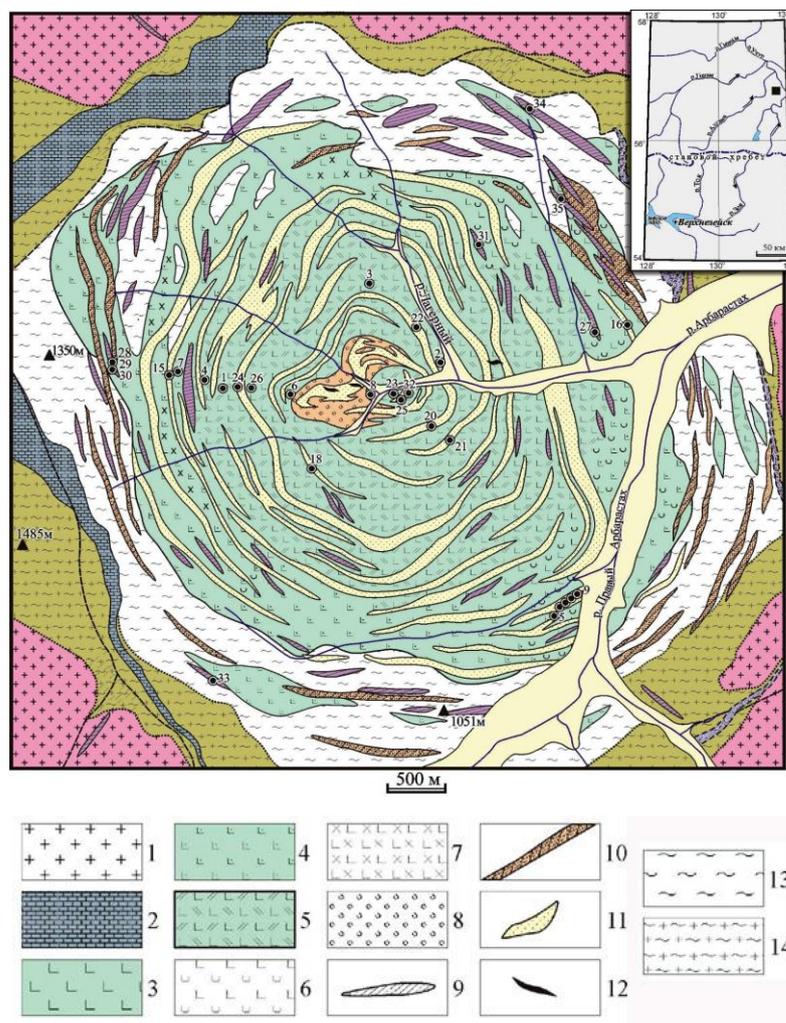
1.2.3 Селигдарский массив

Расположен на Центральном Алдане в 15 км на ЮЗ от г. Алдан, рядом с Томотским щелочным массивом. Площадь выхода 1,5 x 2,5 км². Сложен апатит- магнетит- доломитовыми породами. На массиве в 70 годы проводилась разведка на апатит.

Возраст пород 1880 млн. лет [12]. Генезис пород Селигдара вызывал многолетние споры. Большинство исследователей считали породы метаморфическими, а гл. геолог Р.А. Энтин, проводивший там разведку апатитового месторождения относил их к карбонатитам. Проведенные И. Прокофьевым термобарогеохимические исследования апатита показали его температуры образования равные 800-900 градусов, что подтверждает карбонатитовый генезис пород [12].

1.2.4 Арбарастахский массив

Арбарастахский массив расположен в бассейне р. Арбарастах, левого притока р. Идюм. В плане массив имеет округлую форму с грубо концентрическим строением, площадью 38 км² и относится к массивам Центрального типа. Он прорывает метаморфические породы нижнего архея (рисунок 7). Массив сложен на 70% пироксенитами и биотитовыми пироксенитами. В небольшом количестве встречаются кольцевые дайки ийолитов и канкренитовых сиенитов. По своей площади массива развиты кольцевые даечные тела кальцитовых карбонатитов с углами падения 60-80 градусов внутрь массива. В небольшом количестве встречены доломитовые и анкеритовые карбонатиты. В центре массива крупное тело фоскоритов пироксен- апатит- флогопит- магнетит- кальцитового состава. Отмечены 2 мелкие дайки карбонатитовых кимберлитов мощностью 5-20 см, которые секут карбонатиты.

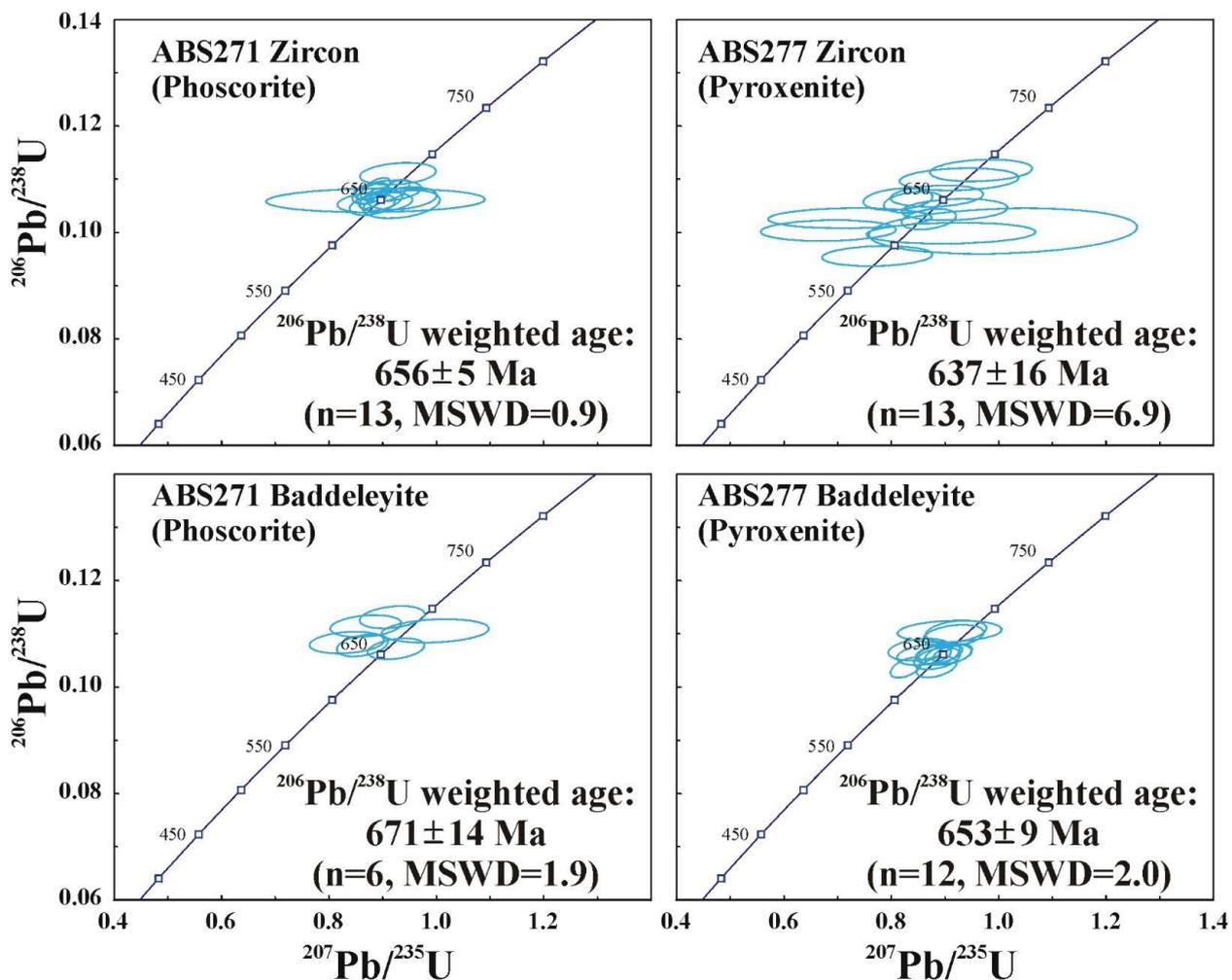


1- гнейсы, 2- кальцифиры, 3-7 пироксениты, 8- фоскориты, 9- сиениты, ийолиты, карбонатиты: 10- кальцитовые, 11- доломитовые; 12- кимберлиты, 13-14 фениты.

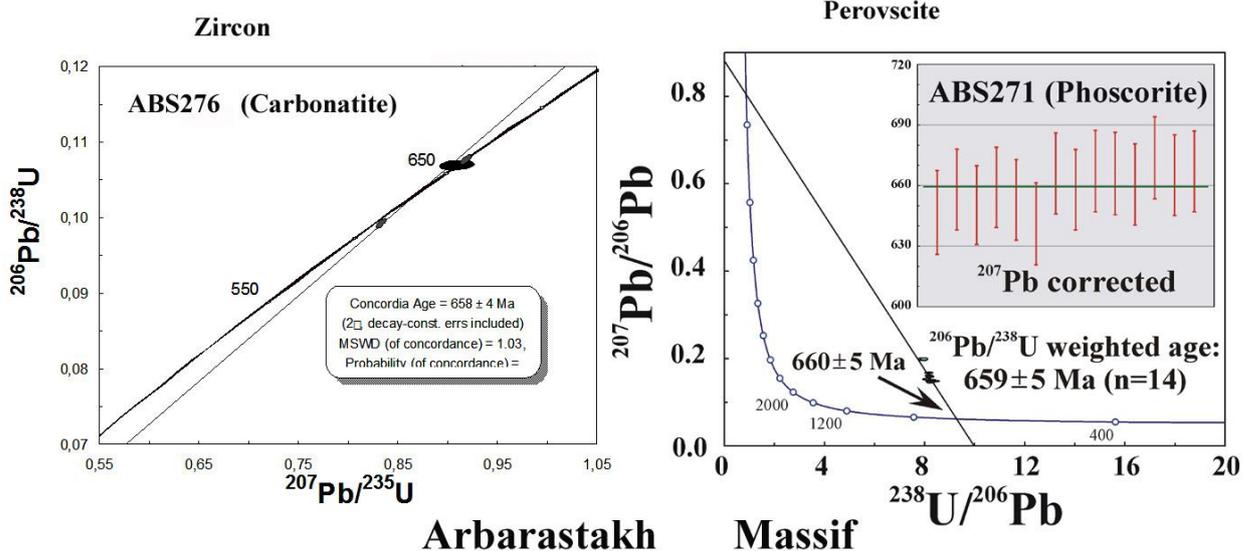
Рисунок 7 – Геологическая карта Арбарастахского массива

Карбонатиты и фоскориты рудоносны на ниобий и тантал. Рудный минерал-пирохлор. Содержания ниобия в карбонатитах варьирует от 0,5 до 5 %, прогнозные запасы 4.2 млн. тонн.

Абсолютный возраст карбонатитов и фоскоритов, полученный K/Ar методом варьирует от 690 до 720 млн лет. Нами по циркону (ИГГД РАН), бадделииту и перовскиту (ГИ Китая) из карбонатитов, фоскоритов и пироксенитов получены следующие результаты возраста (рисунок 8) циркону -637, 656, 658 млн. лет, бадделииту 653, 671 млн. лет, перовскиту 659 млн. лет, среднее значение 656 млн. лет. Определения проведены в разных лабораториях и по разным минералам. Совпадение данных возраста хорошее.



Arbarastakh Massif



Arbarastakh Massif

Рисунок 8 – Графики определения возраста по разным минералам

1.2.5 Ингилинский массив

Ингилинский массив расположен в Восточной части Алданского щита, в среднем течении р. Ингили, правого притока р. Май. Площадь массива 30 км² и имеет сложное концентрическое сложение. Нами изучался керн 2 пробуренных 300 м скважин. Главной разновидностью пород массива являются биотитовые пироксениты. Они прорываются небольшими почти горизонтальными дайками ийолит-мельтейгитов и редко наклонными дайками эгирин-нефелиновых сиенитов. Карбонатиты кальцит-флогопитового состава, расположены в разных частях массива в виде вертикальных даек, мощностью до 2-4 м. В керне скважин в карбонатитах выраженная трахитоидность расположением пластинок слюды. Из аксессуарных минералов отмечен циркон, апатит и редко пироклор. Абсолютный возраст карбонатитов, определенный ранними исследователями К/Аг методом варьирует с таких пределах 610, 690, 752 млн лет.

Нами получен возраст циркона, выделенного из кальцитового карбонатита из керна скважины (рисунок 9). Значение возраста 654 млн лет.

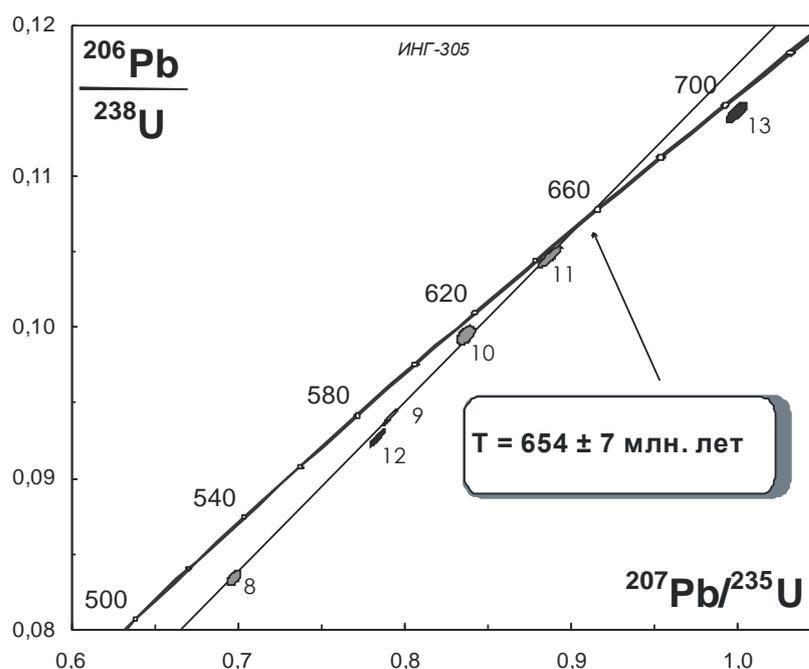


Рисунок 9 – График возраста циркона из кальцитового карбонатита Ингилинского массива

1.3 Сопоставление возраста карбонатитового магматизма Анабарского и Алданского щитов

Анабарский щит

Таким образом на Анабарском щите и в его обрамлении выделялось ранее 2 эпохи магматизма, по породам Маймечы-Котуйской провинции (250 млн. лет) и Уджинской

провинцией Вост. Прианабарья (200-800 млн. лет). Нами получены новые надежные цифра возраста по которым выделяется 4 возрастных цикла карбонатитового магматизма. В Восточном Прианабарье в Томторском массиве 2 этапа щелочного карбонатитового магматизма 700 млн. лет- интрузивные породы и карбонатиты и 400 млн. лет- вулканические породы (пикриты, лампроиты) и эксплзивно-туфовые карбонатитовые редкометальные руды.

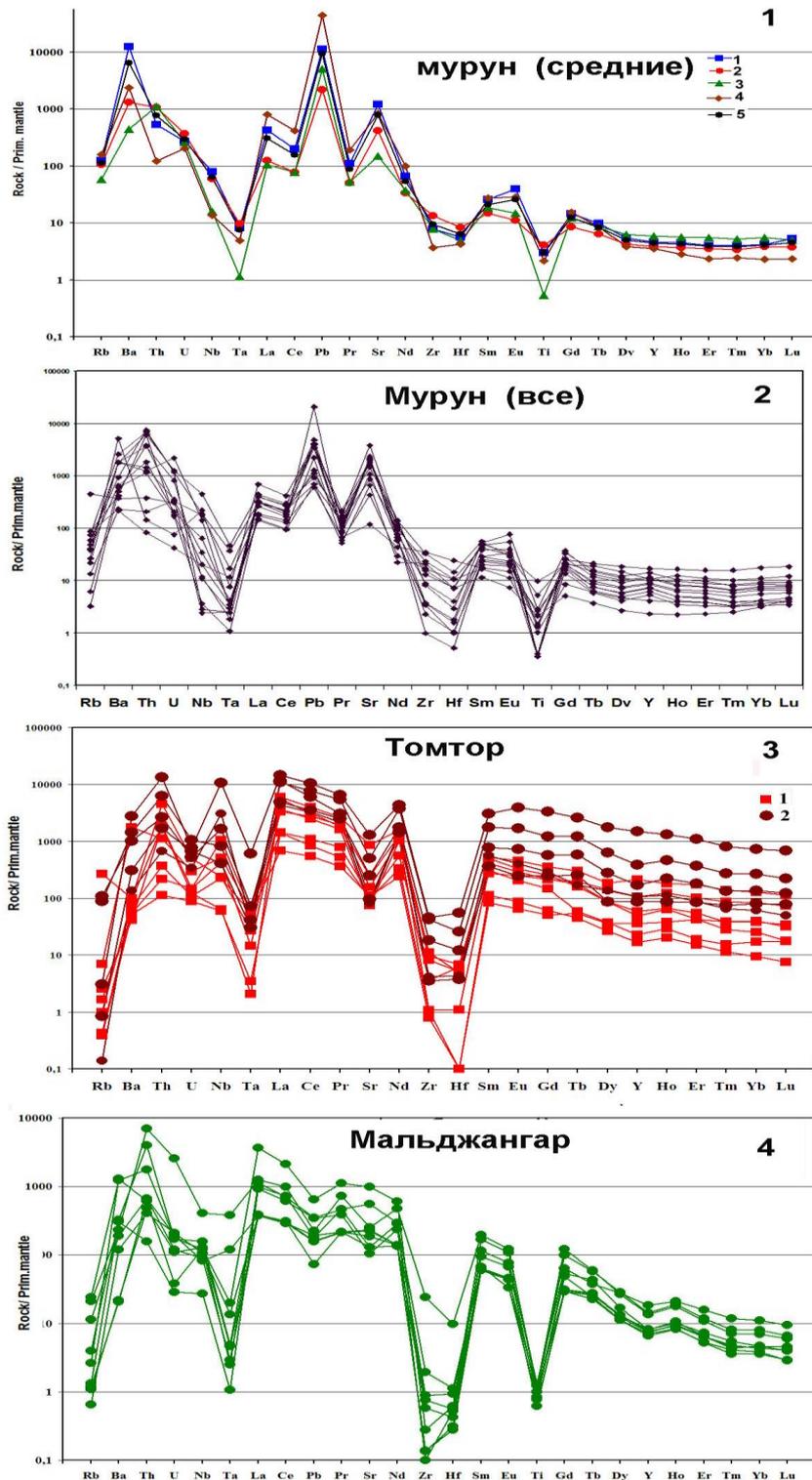
На той же широте в СЗ части обрамления щита в Маймеча- Котуйской провинции этап щелочно-карбонатитового магматизма (по Гулинскому массиву) датируется в 250 млн. лет. И в юго-Восточном окончании Анабарского щита в Мальджангарской провинции возраст щелочно-карбонатитового магматизма определяется в 150-180 млн. лет (среднее значение для Мальджангарского массива 166 млн. лет).

Алданский щит

На Алданском щите ранее выделялось 2 эпохи щелочно-карбонатитового магматизма-Арбарастах- Ингилинская в 600-700 млн. лет и Западно-Алданская (Мурунская) 100-180 млн. лет. Благодаря нашим исследованиям на Алданском щите можно выделить так же 4 эпохи щелочно-карбонатитового магматизма: Центральнo Алданские – Ханинская 2700 млн. лет и Селегдарская 1880 млн. лет, Восточно Алданская эпоха (Ингили- Арбарастахская) 654 млн лет и мезозойская Западно-Алданская (Мурунская) 135 млн. лет.

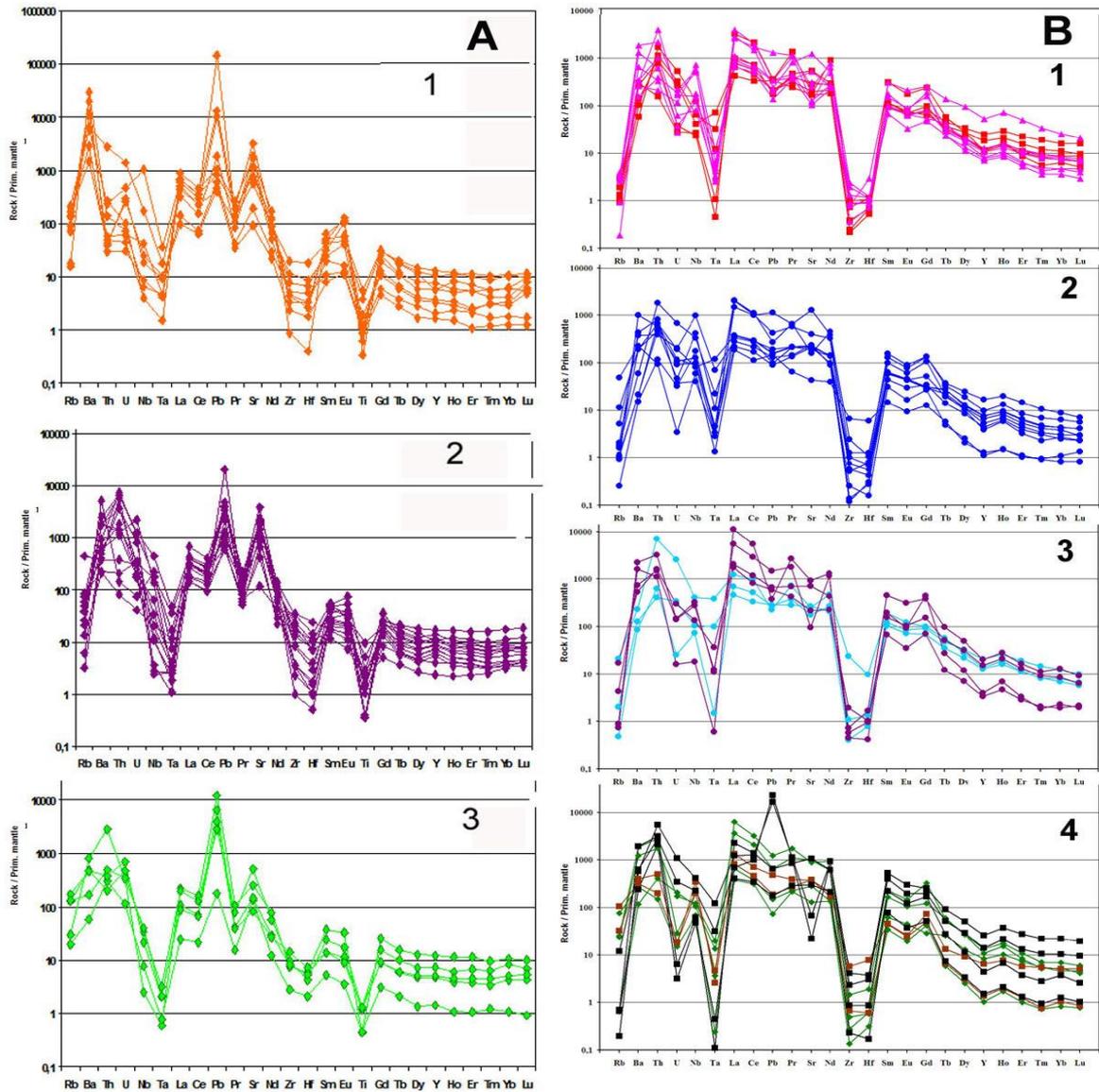
2 Формационно-геохимические типы карбонатитов Анабарского и Алданского щитов

В 80 годы А. Гинсбург и В. Самойлов [4] разделили карбонатиты на 3 формационных типа – натриевый, калиевый и метасоматический. Мы также предлагали выделение 3 формационно-геохимических типов карбонатитовых комплексов. В основу выделения типов положен К или Na- химизм первичных магм и время отделения от них карбонатитовых жидкостей. Первый тип генетически связан с кимберлитовым магматизмом, и отделение карбонатитов произошло от ультраосновной магмы, второй тип связан со щелочно-ультраосновными породами Na- специализации, где отделение карбонатитов происходит на стадии кристаллизации пироксенитов и ийолитов, и третий тип связан с К-щелочными комплексами, где карбонатиты отделяются в более поздний период дифференциации магмы, при кристаллизации сиенитов и гранитов. В настоящее время для геохимической характеристики типов мы насыщаем их поведением редких элементов в самих карбонатитах (кальцитовых, доломитовых, анкеритовых , сидеритовых и иных более редких типов).



Средние значения Мурунских карбонатов: 1 - бенстонитовые карбонаты; 2 - кальцитовые карбонаты, 3- графические кварц-кальцитовые карбонаты, 4- флюорит-карбонаты; 5 - графики среднего состава всех разновидностей карбонатов Мурунского массива. 1 - бенстонитовые карбонаты; 2 - кальцитовые карбонаты, 3- графические кварц-кальцитовые карбонаты, 4- флюорит-карбонаты; 5 - графики среднего состава всех разновидностей карбонатов Мурунского массива. Для Томторских карбонатов: 1- карбонаты, 2- взрыво-туфовые руды

Рисунок 10 – Спайдер-диаграммы массивов К-геохимического типа



А: 1 - бенстонитовые карбонаты; 2 - кальцитовые карбонаты; 3 - графические кварц-кальцитовые карбонаты.

Б: 1 - кальцитовые карбонаты; 2 - доломитовые карбонаты; 3 - доломит-анкеритовые карбонаты; 4- анкеритовые и сидеритовые карбонаты (черные отметины - сидерит, остальные - анкеритовые карбонаты).

Рисунок 11 – Спайдер-диаграмма конфигураций карбонатов разного химического состава из массива Мурун (А) и массива Маджалгар (В)

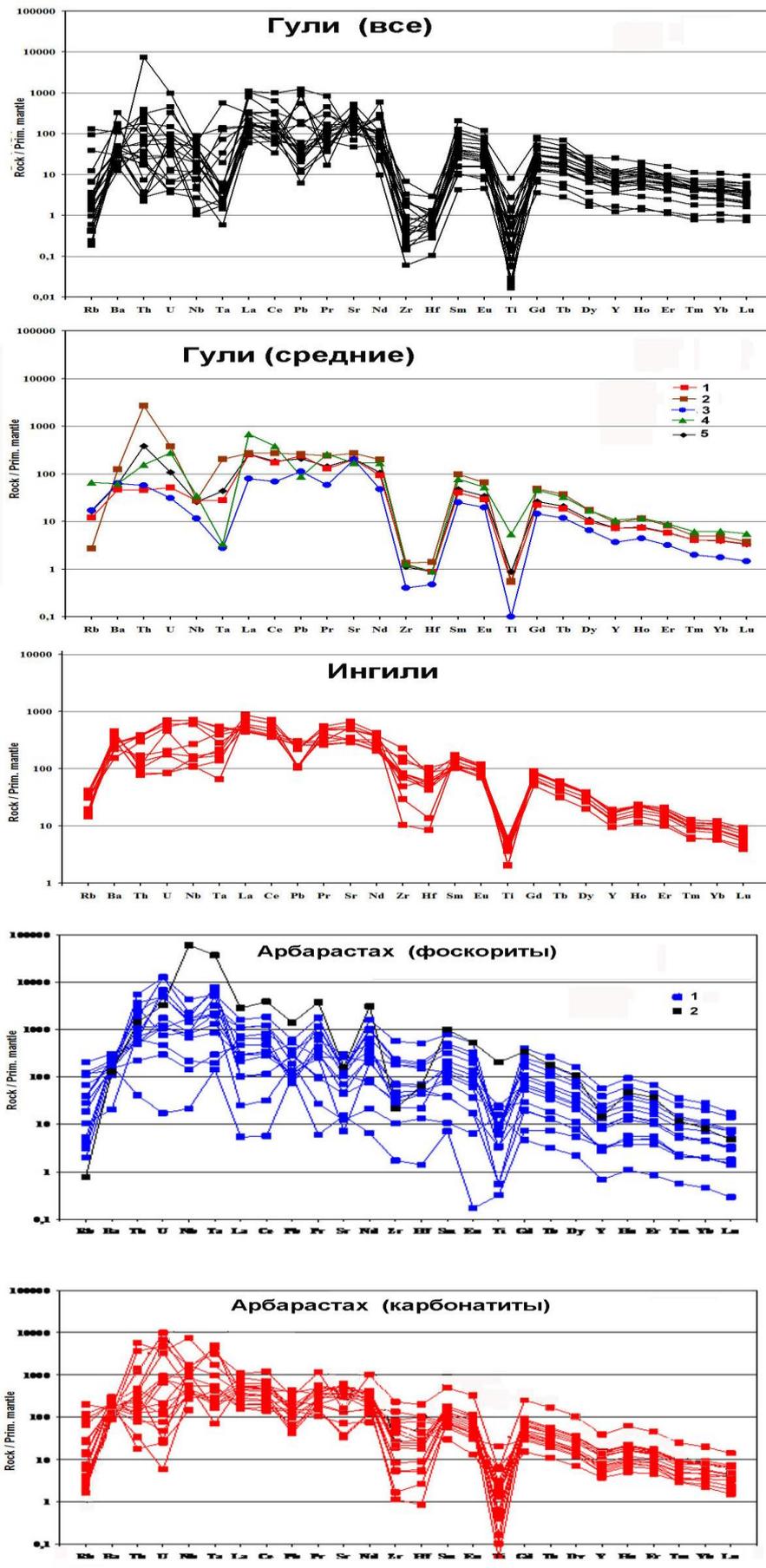


Рисунок 12 – Спайдер-диаграммы для карбонатитов натриевого типа

На основе 500 анализов концентрации редких элементов и их поведения в карбонатитах, проведенных ICP-MS методом в одной лаборатории одним аналитиком из 50 массивов СССР, Монголии и некоторых других объектов мы выделили так же 3 геохимических типа карбонатитов и рассчитали средние содержания этих элементов в карбонатитах разного состава [13]. Геохимическая характеристика карбонатитов Анабарского и Алданского щитов приведена на спайдер-диаграммах (рисунки 10, 11, 12).

Как видно из рисунков 10 и 12 и в Na- и K- типах спайдер-диаграммы карбонатитов Анабарского и Алданского щитов значительно различаются. На рисунке 11 поведение редких элементов в карбонатитах разного состава Мурунского массива аналогичны, что мы видим и в карбонатитах Мальджангарского массива. Но они принадлежат к комплексам разного типа- Na- и K, и спайдердиаграммы их значительно отличаются.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Получены новые данные возраста карбонатитов как Алданского, так и Анабарского щитов. По этим данным на Анабарском щите выделяется 4 возрастных цикла карбонатитового магматизма. В Восточном Прианабарье в Томторском массиве 2 этапа щелочного карбонатитового магматизма 700 млн. лет- интрузивные породы и карбонатиты и 400 млн. лет- вулканические породы (пикриты, лампроиты) и эксплзивно-туфовые карбонатитовые редкометальные руды. На той же широте в СЗ части обрамления щита в Маймеча- Котуйской провинции этап щелочно-карбонатитового магматизма (по Гулинскому массиву) датируется в 250 млн. лет. И в юго-Восточном окончании Анабарского щита в Мальджангарской провинции возраст щелочно-карбонатитового магматизма определяется в 150-180 млн. лет (среднее значение для Мальджангарского массива 166 млн. лет).

На Алданском щите по новым данным можно выделить так же 4 эпохи щелочно-карбонатитового магматизма: Центральнo Алданские – Ханинская 2700 млн. лет и Селегдарская 1880 млн. лет, Восточно Алданская эпоха (Ингили- Арбарастахская) 654 млн лет и мезозойская Западно-Алданская (Мурунская) 135 млн. лет.

Проведено выделение 3 формационно-геохимических типов карбонатитов России. Приводится геохимическая характеристика в виде спайдер-диаграмм карбонатитов Анабарского и Алданского щитов разных геохимических типов. Внутри типов спайдер-диаграмма аналогичны, а между разными типами значительно отличаются. Полученные данные необходимо использовать при определении типа рудоносности карбонатитов и оценки масштабов месторождений редких элементов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Владыкин Н.В., Торбеева Т.С. Лампроиты Томторского массива (Восточное Прианабарье) // Геология и геофизика. - 2005. - Т. 46, № 10. - С. 1038-1049.
2. Владыкин Н.В., Лепехина Е.А. Возраст необычных ксеногенных цирконов из кимберлитов Якутии // ДАН. – 2009. - Т. 429, № 6. - С.774-778.
3. Владыкин Н.В., Котов А.Б., Борисенко А.С., акад. Ярмолюк В.В., акад. Похиленко Н.П. Возрастные рубежи формирования щелочно-ультраосновного массива Томтор: результаты U-Pb и $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ геохронологических исследований // ДАН. - 2014. - Т. 454, № 2. - С. 250-254.
4. Гинзбург А.И., Самойлов В.С. К проблеме карбонатитов // ЗВМО. - 1983. - Вып. 2. - С. 164-176.
5. 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.
6. Зайцев А.И., Энтин А.Р., Ненашев Н.И. и др. Геохронология и изотопная геохимия карбонатитов Якутии // Якутск, ЯНЦ СО РАН, 1992. - 248 с.
7. Когарко Л.Н., Зартман З.Э. Новые данные о возрасте Гулинской интрузии и проблема связи щелочного агматизма Маймеча-Котуйской провинции с Сибирским суперплюмом // Геохимия. – 2011. - № 5. - С. 462-472.
8. Костюк В.П., Панина Л.И., Жидков А.Я. и др. Калиевый щелочной магматизм Байкало-Становой рифтогенной системы. - Новосибирск: Наука, 1990. - 235 с.
9. Покровский Б.Г. Коровая контаминация мантийных магм по данным изотопной геохимии. М.: Наука, 2000. - С.1-150.
10. Табунс Э.В., Сальникова Е.Б., Коваленко В.И., Ковач В.П., Котов А.Б., Яковлева С.З., Федосеенко А.М., Толкачев М.Д., Плоткина Ю.В. Позднеархейский возраст инициального калиевого магматизма Алданского щита (массив Укдуска): результаты U-Pb датирования единичных зерен циркона // Доклады Академии наук. - 2004. - Т. 398, № 1. - С. 102-105.
11. Ivanov Alexei V., Vladykin Nikolay V., Demonterova Elena I., Gorovoy Viktor A., Dokuchits Emilia Y. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ Geochronology of the Malyy (Little) Murun massif, Aldan Shield of the Siberian Craton: a simple story for an intricate igneous complex // Minerals. - 2018. - 8 (602). - P. 1-21.
12. Doroshkevich Anna G., Prokopyeva Ilya R., Izokh Andrey E., Klemdd Reiner, Ponomarchuk Anton V., Nikolaeva Irina V., Vladykin Nikolay V. Isotopic and trace element geochemistry of the Seligdar magnesiocarbonatites (South Yakutia, Russia): Insights regarding

the mantle evolution beneath the Aldan-Stanovoy shield // Journal of Asian Earth Sciences. - 2018. - No. 154. - P. 354-368.

13. Nikolay.V.Vladykin, Franco Pirajno Types of carbonatites in Russia: geochemistry, genesis and mantle sources // Lithos. - 2021 (in press).

14. Vladykin N.V. K-alkaline rocks and lamproites of Tomtor massif // Geophysical Research Abstracts General Assembly. – 2015. -Vol. 17, EGU2015-2937 EGU.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Опубликованы в 2020 году:

WOS

1. Nikolenko A.M., Doroshkevich A.G., Ponomarchuk A.V., Redina A.A., Prokopyev I.R., Vladykin¹ N.V., Nikolaeva I.V. Ar-Ar geochronology and petrogenesis of the Mushgai-Khudag alkaline-carbonatite complex (southern Mongolia) // *Lithos.* - V. 372-373 (01.11.2020), номер статьи: 105675. DOI: [10.1016/j.lithos.2020.105675](https://doi.org/10.1016/j.lithos.2020.105675) (ИФ = 3,39 Q2).

2. Redina A.A., Nikolenko A.M., Doroshkevich A.G., Prokopyev I.R., Wohlgemuth-Ueberwasser C., Vladykin N.V. Conditions for the crystallization of fluorite in the Mushgai-Khudag complex (Southern Mongolia): Evidence from trace element geochemistry and fluid inclusions // *Chemie der Erde-Geochemistry.* - 2020. - Номер статьи 125666. DOI: [10.1016/j.chemer.2020.125666](https://doi.org/10.1016/j.chemer.2020.125666) (ИФ = 2,871 Q2).

3. Радомская Т.А., Канева Е.В., Шендрик Р.Ю., Суворова Л.Ф., Владыкин Н.В. Серосодержащий содалит – гакманит в щелочных пегматитах массива Инагли (Алданский щит): кристаллохимические особенности, фотохромизм и люминесценция // *ЗРМО.* - 2020, Ч. CXLIX, № 2. - С. 42-54. DOI: [10.31857/S0869605520020069](https://doi.org/10.31857/S0869605520020069) (Scopus).

4. Ponomarev G., Vladykin N., Radomskaya T. Genetic Role of Calcium Content in Olivine Crystals of Ultramafic and Mafic Rocks // *American Journal of Physical Chemistry.* - 2020. 9(2). - P.16-26.

5. Shumilova T., Vladykin N.N. High pressure after-coal carbon from melt rock of the Giant popigal astrobleme (Siberia, Russia) // 6th World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. -2020.- 609 012054 IOP Publishing Doi:[0.1088/1755-1315/609/1/012054](https://doi.org/10.1088/1755-1315/609/1/012054)

6. Kaneva² E., Shendrik¹ R., Mesto E., Bogdanov¹ A., Vladykin¹ N. Spectroscopy and crystal chemical properties of NaCa₂[Si₄O₁₀]F natural agrellite with tubular structure // *Chemical Physics Letters.* – 2020. V. 738. - Номер статьи: 136868. (01.2020). DOI: [10.1016/j.cplett.2019.136868](https://doi.org/10.1016/j.cplett.2019.136868) (ИФ = 2,029 Q3).

(Scopus, Ринц)

7. Владыкин Н.В., Каюков А.Е., Сотникова И.А., Милаушкин М.А. Месторождения стратегического сырья в Вост. Прибайкалье (Иркутская область) // **АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ НАУКИ ПРИБАЙКАЛЬЯ.** – 2020. - Выпуск 3. - С. 46-53.

8. Владыкин Н.В. Генезис суперкрупного Томторского месторождения стратегических металлов // *Породо-, минерало- и рудообразование: достижения и перспективы исследований. Труды к 90-летию ИГЕМ РАН.* - 2020. - С.64-68.

9. Владыкин Н.В., Сотникова И.А. Петрология К-щелочных комплексов с полным набором дифференциатов от щелочно-ультраосновных пород до гранитов // Породо-, минерало- и рудообразование: достижения и перспективы исследований. Труды к 90-летию ИГЕМ РАН. - 2020. - С.301-304.

10. Радомская Т.А., Владыкин Н.В., Суворова Л.Ф., Сотникова И.А. Вариации состава пироксена в породах щелочно-ультраосновного массива Инагли в результате дифференциации магматического расплава // Породо-, минерало- и рудообразование: достижения и перспективы исследований. Труды к 90-летию ИГЕМ РАН. - 2020. - С.628-631.

11. Владыкин Н.В. Мантийные источники щелочных и карбонатитовых комплексов России по изотопным данным // Породо-, минерало- и рудообразование: достижения и перспективы исследований. Труды к 90-летию ИГЕМ РАН. - 2020. - С.707-711.