

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.Перепелов
_____ января 2019 г

**ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ**

по теме:

Возрастные характеристики и геохимические особенности самых древних в мире карбонатитов Алданского щита с возрастом 2,6 -2,7 млрд лет (Мурунский и Ханинский массивы). Возраст, геохимические особенности и генезис Селигдарских карбонатитов (1,8 млрд лет)
№ 0350-2016-0031
(промежуточный)

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.

подпись, дата

Н.В. Владыкин

Иркутск 2019

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Научный руководитель темы, д-р геолого-минералогических наук	_____	Н. В. Владыкин (раздел 1-4)
	подпись, дата	
Ст. науч. сотр., канд. геол.-мин. наук	_____	Н. В. Алымова (раздел -1)
	подпись, дата	
Науч. сотр., канд. геол.-мин. наук	_____	Т. А. Радомская (раздел- 4)
	подпись, дата	
Науч. сотр., канд. геол.-мин. наук	_____	И. А. Сотникова (раздел - 2)
	подпись, дата	
Мл. науч. сотр., канд. геол.- мин. наук	_____	Э. Ю. Докучиц (раздел - 3)
	подпись, дата	
Ведущий инженер	_____	А. Ю. Митрофанова (раздел -2)
	подпись, дата	

РЕФЕРАТ

Отчет 19 с., 5 рис., 1 табл., 12 источн., 1 прил.

Объекты исследования: К-щелочные лампроит-карбонатитовые комплексы щитов и складчатых зон (массивы – Мурунский, Хананский, Селигдарский).

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.

Впервые получены Ar/Ar методом по слюдам и К-минералам 20 возрастных датировок для всех 15 разновидностей пород комплекса (в том числе и карбонатит-чароитовых пород) в пределах 135-130 млн лет. Такие близкие по значениям датировки возраста подтверждают образование пород путем расслоения первичной щелочно-ультраосновной магмы.

Впервые получены изотопные возрастные характеристики (методом Pb-U по цирконам) для карбонатитов и лампроитов трех массивов из одной геологической структуры Алданского щита, которые являются самыми древними карбонатитами и щелочными породами мира. Для кальцитовых карбонатитов, расположенных в СЗ экзоконтактной зоне Мурунского массива (2,6- 2,7 млрд лет), для Хананских лампроитов и карбонатитов (2,6-2,7 млрд лет), для Селигдарских карбонатитов (1,8 млрд лет). Геохимическим методом доказана принадлежность последних к карбонатитам.

Для уникального, единственного в мире Мурунского лампроит-чароит-карбонатитового комплекса впервые получены данные методом термобарогеохимии о температурах их образования и составе магматических флюидов. Эти данные однозначно доказывают магматический генезис этих пород и участие в их образовании мантийных плюмов. Так же получены данные по составу флюидов Ti-месторождения (кварц-брукит-анатазовые жилы), связанного с этими породами

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ.....	7
1 Геологическое положение и строение Мурунского массива.....	7
2 Петрохимические особенности пород Мурунского массива.....	9
3 Термобарогеохимические исследования.....	11
4 Геохронологические исследования.....	12
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	16
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	17
ПРИЛОЖЕНИЕ.....	19

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, Сг-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.

Чароитовые породы – уникальные образования природы и известны в мире только в Мурунском массиве. Чтобы понять их образование, необходимо изучить весь магматизм Мурунского массива и связь с ним чароитовых пород и определить возрастной этап, на котором они образовались.

Мурунский щелочной массив – уникальное творение природы. Он представлен самым крупным в мире вулcano-плутоническим комплексом щелочных пород, характеризующихся калиевой агпаитностью, и не имеет аналогов в мире. По набору слагающих массив пород и минералов, а также месторождений и рудопроявлений (в том числе и самоцвета чароита) он так же уникален. В Мурунском массиве наблюдается уникальная для магматических щелочных пород полная дифференциация от ультраосновных-щелочных пород до щелочных гранитов со всеми промежуточными разновидностями [1, 2, 3]. Процессы магматического силикатного и силикатно-карбонатного расслоения играли важную роль при образовании этой серии пород Мурунского массива. Образование карбонатитового комплекса Мурунского массива, к которому принадлежат уникальные чароитовые породы, связано с эволюцией остаточных

силикатно-карбонатных магматических расплавов, обособлявшихся от щелочной магм при кристаллизации щелочных силикатных пород.

Образование единой серии дифференциатов от щелочных-ультраосновных через щелочные-основные, средние лейцит-сиенитовые до щелочногранитных, с отделением от них остаточного силикатно-карбонатного расплав-флюида доказано петрохимическими, геохимическими и термобарогеохимическими исследованиями [1, 2, 3, 4].

На петрохимических диаграммах парных и тройных корреляций породобразующих элементов наблюдается единый тренд составов пород от ультраосновных до кислых. Изучение расплавных включений показало диапазон температур образования силикатных пород комплекса от 1500 до 900 °С [4], и для остаточного силикатно-карбонатного комплекса 850–450 °С [5]. Для полного доказательства генетического единства серии пород Мурунского щелочного комплекса необходимо было провести детальные работы по датированию всех пород. Что и являлось целью исследований в 2018 году.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В обрамлении Сибирской платформы широко развиты комплексы щелочно-ультраосновных пород с карбонатитами, а на Алданском щите К-щелочные комплексы, 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, 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, на основании которых устанавливается их принадлежность к магматическим формациям той или иной металлогенической эпохи.

Кроме того, в Ханинском массиве нами ранее [6] был получен возраст даек лампроитов 2,6 млрд лет.

В проекте планировалось провести детальные работы:

- 1) по датированию всех дифференциатов К-щелочно-ультраосновного комплекса Маломурунского выхода и
- 2) древних карбонатитов Ханинского и Селигдарского массивов.
- 3) провести термобарогеохимические исследования пород чароитового комплекса и определить их генезис.

1 Геологическое положение и строение Мурунского массива

Мурунский массив является классическим представителем уникальных комплексов агапитовых К-щелочных пород. Площадь массива 150 км², возраст 120–145 млн лет.

Геологическая карта массива представлена в соответствии с рисунком 1. Мурунский массив делится на Восточный Маломурунский, Западный Большемурунский и Дагалдынский выходы. Далее речь пойдет о первом. Для Маломурунского массива характерна лампроитовая специфика кристаллизации первичной магмы [1], при которой не кристаллизуются альбит и нефелин. Из-за высокой калиевой щелочности при кристаллизации магмы интенсивно проявляются процессы дифференциации и расслоения магматического расплава. Эти процессы характерны для всех этапов становления интрузии – от ранней ультраосновной-щелочной фазы, затем для главной лейцит-сиенитовой фазы и вулканической лейцит-фонолитовой и заканчивая поздней остаточной от кристаллизации ранних пород силикатно-карбонатной фазой внедрения магмы. Главной особенностью Мурунского массива является наличие в нем бенстонитовых карбонатитов и чароитовых пород.

Далее представлена детальная **схема магматизма пород Маломурунского массива:**

1. Ранняя фаза массива проявлена в СВ части массива (Мартовская аномалия). Самые ранние породы – это оливин-шпинелиевые и оливин-монтichelлит-флогопит-пироксеновые породы с мелилитом, которые в виде ксенолитов встречаются в Bt-пироксенитах. По данным термобарогеохимии [4], температуры их кристаллизации следующие (°C): оливин – 1500, монтichelлит – 1400, пироксен – 1300, мелилит и апатит – 900. Главные представители ранней фазы – это K-ультраосновные-щелочные породы расслоенной серии: Bt-пироксениты (Bt + Py + Ap), лейцитовые шонкиниты (Bt + Py + Lc), калишпатовые шонкиниты (Bt + Py + KFsp), оливиновые лампроиты (Ol + Bt + + Py + Lc + KFsp), K-ийолиты (Ks + Bt + Py + Gr)¹. Мощность слоев пород 1–5 м, контакт этой серии пород с вмещающими породами тектонический.

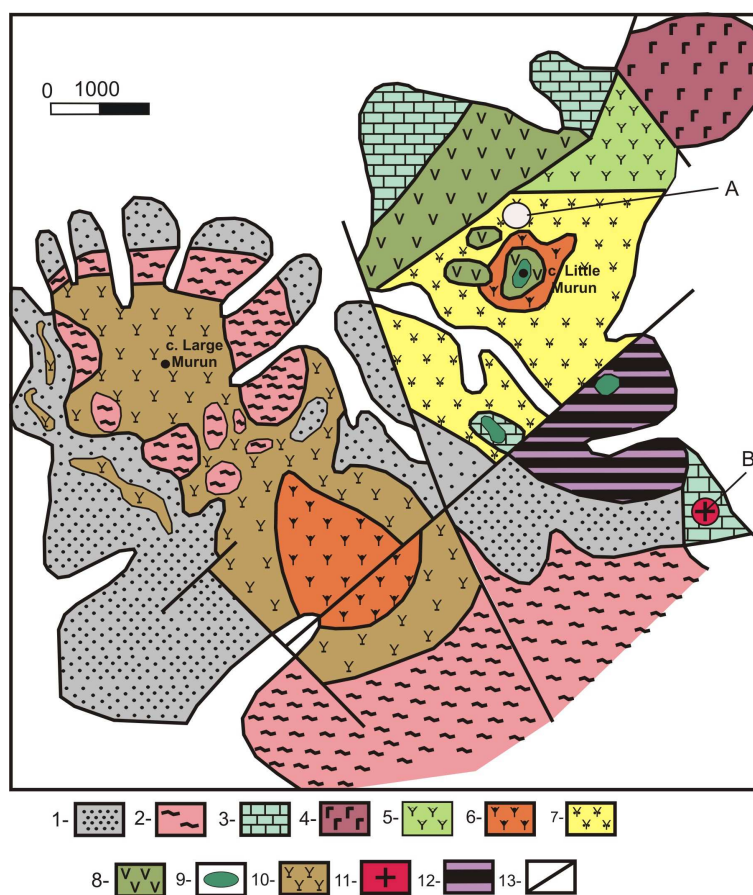


Рисунок 1 Схема геологического строения Мурунского массива [1].

1 – архейские гранитогнейсы, 2 – протерозойские кварцевые песчаники, 3 – доломиты; 4–12 – породы массива: 4 – расслоенный комплекс Bt-пироксенитов, 5 – псевдолейцитовые сиениты, 6 – нефелиновые сиениты, 7 – щелочные сиениты, 8 – вулканический комплекс лейцитовых фонолитов, лейцитовых лампроитов, 9 – эгириниты, 10 – щелочные и кварцевые сиениты, 11 – щелочные граниты, 12 – породы чароитового комплекса; 13 – разломы.

¹ Сокращения: Ap — апатит, Bt — биотит, Py — пироксен, Ol — оливин, Плц — псевдолейцит, Gr — гранат, Ks — кальсилит, Fsp — калиевый полевой шпат, Qu — кварц, Lc — лейцит, Кс — кальцит.

2. Главная фаза массива представлена расслоенной серией различных сиенитов: это лейцитовые сиениты – сынныриты (Bt + Py + Lc), кальсилитовые сиениты (KFsp + Ks), калишпатовые сиениты (Bt + Py + KFsp), лейкосиениты (KFsp) и в небольшом количестве кварцевые сиениты (KFsp + Qu).

Они образуют переслаивающиеся тела мощностью 1– 3 м. Переслаиваются не только сиениты разного минерального состава, но и разной текстуры и меланократовости, т. е. слои мелко- и крупнозернистые, лейко- и меланократовые. Последними в этой серии кристаллизовались дайки и шток щелочных гранитов. Породы главной фазы занимают более 50 % площади и располагаются в центральной части Маломурунского массива.

3. Следующая фаза массива – вулканическая. Она представлена лавами и покровами, туфолавами, лавобрекчиями также расслоенного комплекса лейцитовых фонолитов, лейцититов и лейцитовых лампроитов. С этой фазой внедрения связаны различные дайковые породы: лейцитовые тингуаиты, санидиновые лампроиты, эгирин-микроклин-кальсилитовые лампрофиры с таусонитом, эгирин-KFsp-кальсилитовые лампрофиры с К-батиситом, KFsp-эгирин-лампрофиллитовые лампрофиры и кальсилит-эгирин-эвдиалитовые луявриты с владыкинитом. 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 содержат микрокалишпатиты, калишпат-пироксеновые и кварц-кальцит-калишпат-пироксеновые породы, чароитовые породы различного минерального состава и карбонатиты. Среди карбонатитов выделяются три разновидности – бенстонитовые, кальцитовые и кварц-кальцитовые с графическими структурами. Породы этой серии занимают площадь в 10 км² в ЮВ приконтактной части массива. Они образовались из остаточного расплав-флюида, обогащенного щелочами и Ba-Sr. Этот расплав был реакционный и реагировал с ксенолитами лампроитовых даек, а провес доломитовой кровли над этими породами превратился в кальцит-К-рихтерит-тетраферрифлогопитовые породы с месторождением К-рихтерит-асбеста.

Самыми поздними образованиями массива являются гидротермальные жилы и зоны с такими рудными компонентами, как U, Th, Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Mo, Ti, Nb.

2 Петрохимические особенности пород Мурунского массива

На петрохимических диаграммах в соответствии с рисунком 2 наблюдается единый тренд составов пород от ультраосновных до гранитных, что указывает на гомодромность пород комплекса. Но для подтверждения их гомодромности необходимы данные о возрасте этих пород. Проведенные термобарогеохимические исследования показывают, что

кристаллизация первичной магмы в ранних породах начинается с оливина при $T = 1500\text{ }^{\circ}\text{C}$, лампроиты кристаллизуются при $1200\text{--}1500\text{ }^{\circ}\text{C}$. В расплавных включениях в монтичеллите наблюдается силикатно-карбонатная несмесимость, причем силикатная составляющая отвечает составу лампроитов, а карбонатная – карбонатитам. Эта карбонатная составляющая отделяется от силикатного расплава, кристаллизуется тут же в монтичеллитовых породах и не является прообразом более поздних карбонатитов.

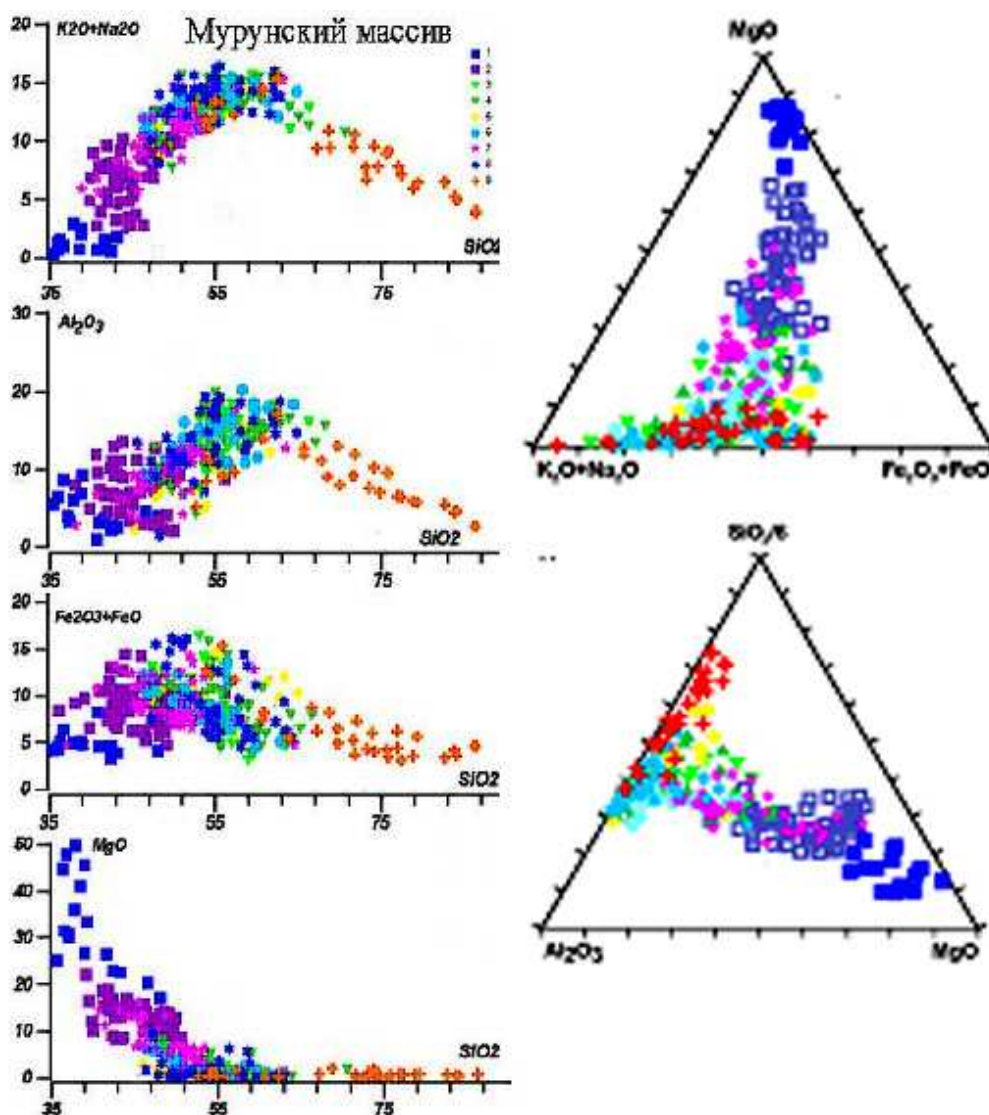


Рисунок 2 Парные и тройные корреляции петрогенных элементов Маломурунского массива.

В некоторых сиенитах и чароитовых породах также наблюдаются округлые выделения карбонатитов. Кроме того, в сиенитовых и силикатно-карбонатных породах массива встречаются все минералы, характерные для лампроитов, – К-рихтерит, К-батисит, вадеит, делит, прайдерит. В них, как и в лампроитах, не кристаллизуются плагиоклаз и нефелин, геохимическая специфика аналогичная. Исходя из этих данных, мы считаем, что состав

первичной магмы Маломурунского массива был близок к лампротовому и породы массива – производные раскристаллизованной высокодифференцированной лампроитовой магмы. В мире больше нет примера такого объема лампроитовой магмы. Этим объясняется и уникальность чароита, который даже в микроколичествах не встречен нигде в мире.

3 Термобарогеохимические исследования

Проведены новые термобарогеохимические исследования расплавных и флюидных включений в чароитовых и карбонатитовых породах [5]. Изучены расплавные и флюидные включения в минералах чароитовых пород (А.А.Боровиков, ИГМ СО РАН). Начинается их кристаллизация при $t = 750\text{ }^{\circ}\text{C}$ (пироксен) и заканчивается при $t = 450\text{ }^{\circ}\text{C}$ (другие минералы) [5, 6].

Также получены данные по составу флюидов Ti-месторождения (кварц-брукит-анатазовые жилы), с $t = 520\text{ }^{\circ}\text{C}$ для брукита и $t = 540\text{ }^{\circ}\text{C}$ для анатаза [7].

В чароитовых породах в соответствии с рисунками 3 и 4 наблюдаются структуры течения и процессы расслоения – капельные и полосчатые, что подтверждает их кристаллизацию из остаточного расплав-флюида.

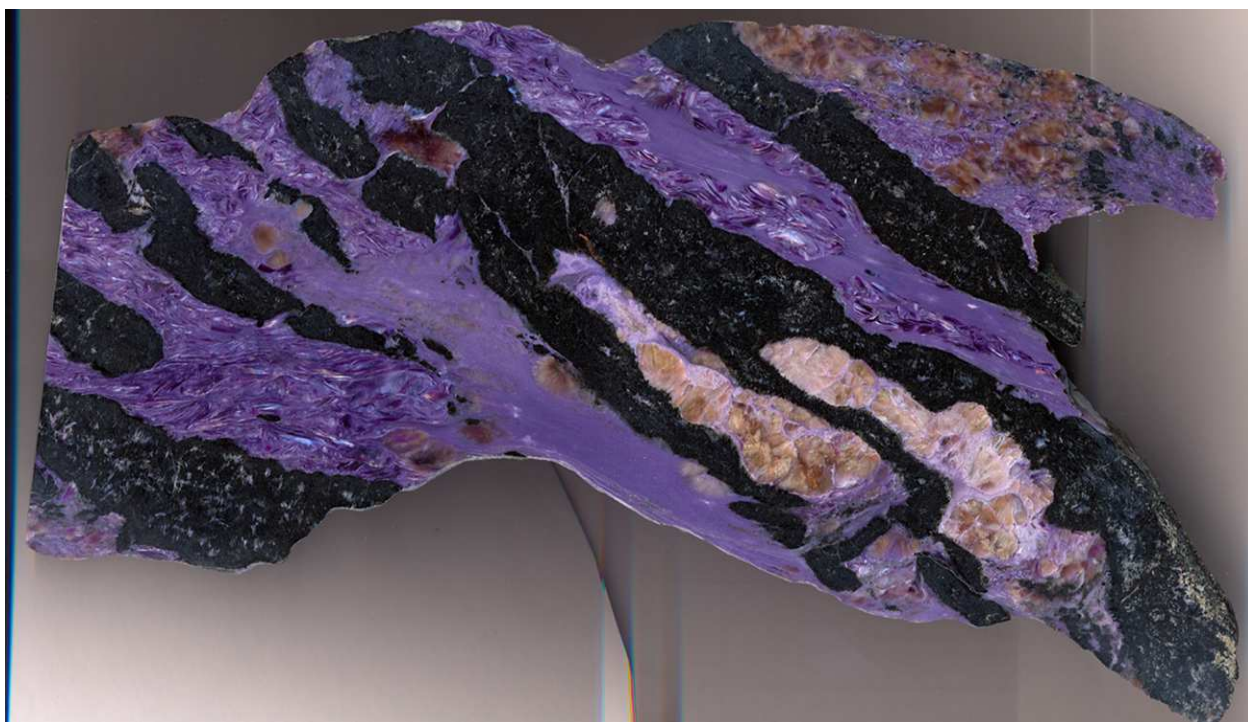


Рисунок 3 Структуры течения в чароитовых породах. Раскристаллизация закаленного чароита в паркетный.

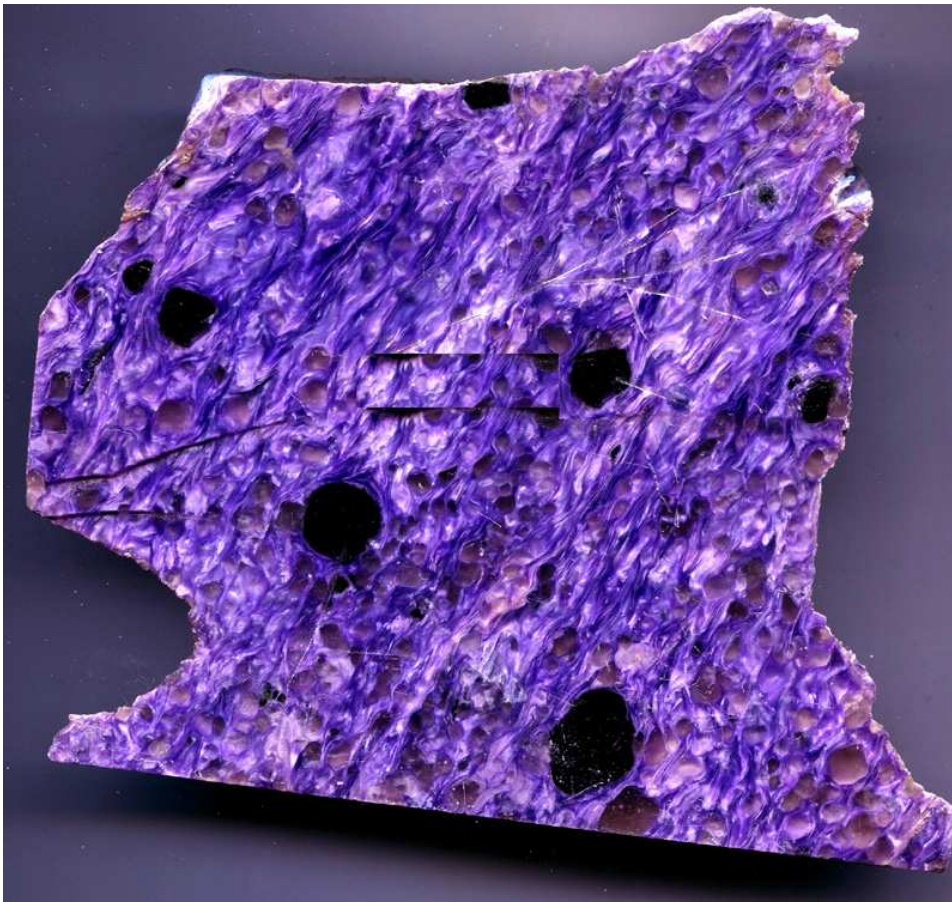


Рисунок 4 Структуры течения в чароитовых породах с капельным расслоением пироксена (черное) и тинаксита (коричневое).

4 Геохронологические исследования

Датировались породы почти всех дифференциатов Маломурунского массива Ag-Ag методом. Силикатные породы датировались по слюдам, а где слюды не кристаллизовались – по микроклинам. Для пород силикатно-карбонатного комплекса датировки производились по разным минералам, содержащим калий в процентных концентрациях. Слюды выделялись из больших геохимических проб (20 кг) по специальной методике (отмучивались, откатывались, отделялись на электромагнитном сепараторе). Другие минералы отбирались иголкой под биноклем из дробленных проб. Чистота минералов от вторичных процессов гарантировалась.

Измерения изотопов аргона выполнены в Институте земной коры СО РАН (Иркутск) при помощи масс-спектрометрического комплекса ARGUS VI (Thermo Scientific), включающего масс-спектрометр секторного типа с пятью коллекторами Фарадея и источником электронного удара Нировского типа, систему очистки газа с тремя SAES геттерами и резистивную печь двойного вакуума. Анализ изотопного состава аргона осуществлен методом ступенчатого нагрева от 390 °С до температуры полного плавления образца в 12–16 ступеней в зависимости от датируемого минерала. Возраст проб

рассчитан относительно возраста стандарта BERN4M 18.885 млн лет, что позволяет согласовать $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ с U-Pb данными. Данные полученных возрастов представлены в таблице.

Таблица – Возраста пород Мурунского комплекса

Минералы пород массива, по которым проводилась датировка	Возраст, млн лет
1. Ранняя фаза – кумулятивная часть – оливин-шпинелевые породы, оливин-пироксен-флогопит-монтчеллитовые породы (Bt)	134,26 ± 0,32
Расслоенный комплекс ультраосновных ультракалиевых пород:	
Bt-пироксениты (Ap+Bt+Py), (Bt)	133,14 ± 0,45
Ol- лампроиты (Ol+Bt+Py+Плц+Fsp), (Bt)	135,17 ± 0,91
Лейцитовые фергуситы (Плц+Bt+Py) Шонкиниты (Fsp+Bt+Py) (Bt)	134,78± 0,45
2. Главная фаза:	
Расслоенный комплекс Плц, Fsp-Ks, Bt-Py-Fsp сиенитов (Bt)	135,76 ± 0,68
Кварцевые сиениты, дайки и штоки щелочных гранитов (микроклин)	130± 0,71
3. Вулканическая фаза:	
Расслоенный поток Плц-мелафонолитов, лейцититов (Bt)	136,10 ± 0,48
Лава Плц- лампроитов, (Bt)	142,66 ± 0,70
Дайковый комплекс – Плц-тингваиты, рихтерит-санидиновые лампроиты, (Bt)	136,06 ± 0,54
Эвдиалитовые луювриты (микроклин)	136,60 ± 0,88
4. Поздняя фаза: полосчатый расслоенный комплекс калиевых силикатно-карбонатных пород:- микрокалцишпатиты (микроклин)	129,43 ± 0,87
Карбонатиты	
бенстонитовые (микроклин)	128,92 ± 0,80
бенстонитовые (тинаксит)	135,87 ± 0,45
кальцитовые (микроклин)	129,81 ± 0,68
кварц-кальцитовые (микроклин)	128,42± 0,59
Чароитовые породы	
Микроклин	135,79 ± 0,42
Франкаменит	137,55 ± 0,46
Токкоит	135,93 ± 0,49
К-арфведсонит	133,14± 0,84
Федорит	133,11± 0,34
Тинаксит	133,0 ± 3,2
Гидротермальные жилы	
Кварц- Fsp- брукиитовые жилы (микроклин)	123,40 ± 1,5

Также получено 4 датировки этих же пород U-Pb методом (впервые) по гранатам, которые совпадают с Ar-Ar данными.

Такие близкие по значениям датировки возраста подтверждают нашу гипотезу об образовании пород путем расслоения первичной щелочно-ультраосновной магмы [1, 2, 3].

Данные по геохимии изотопов Sr-Nd приведены в работе [8].

Впервые получены изотопные возрастные характеристики (методом Pb-U по цирконам) для карбонатитов и лампроитов трех массивов из одной геологической структуры Алданского щита, которые являются самыми древними карбонатитами и щелочными породами мира. Для кальцитовых карбонатитов, расположенных в СЗ экзоконтактной зоне Мурунского массива (2,6–2,7 млрд лет), для Хананских лампроитов и карбонатитов (2,6–2,7 млрд лет) [9], для Селигдарских карбонатитов (1,8 млрд лет). Геохимическим методом доказано принадлежность последних к карбонатитам. Спайдердиаграммы и спектры TR Селигдарского массива приведены в соответствии с рисунком 5.

Спайдердиаграммы апатитовых пород и карбонатитов Селигдарского массива аналогичны, также как и графики спектров редкоземельных элементов и соответствуют графикам, характерным для карбонатитовых серий [1, 2, 3].

Селиктарский массив

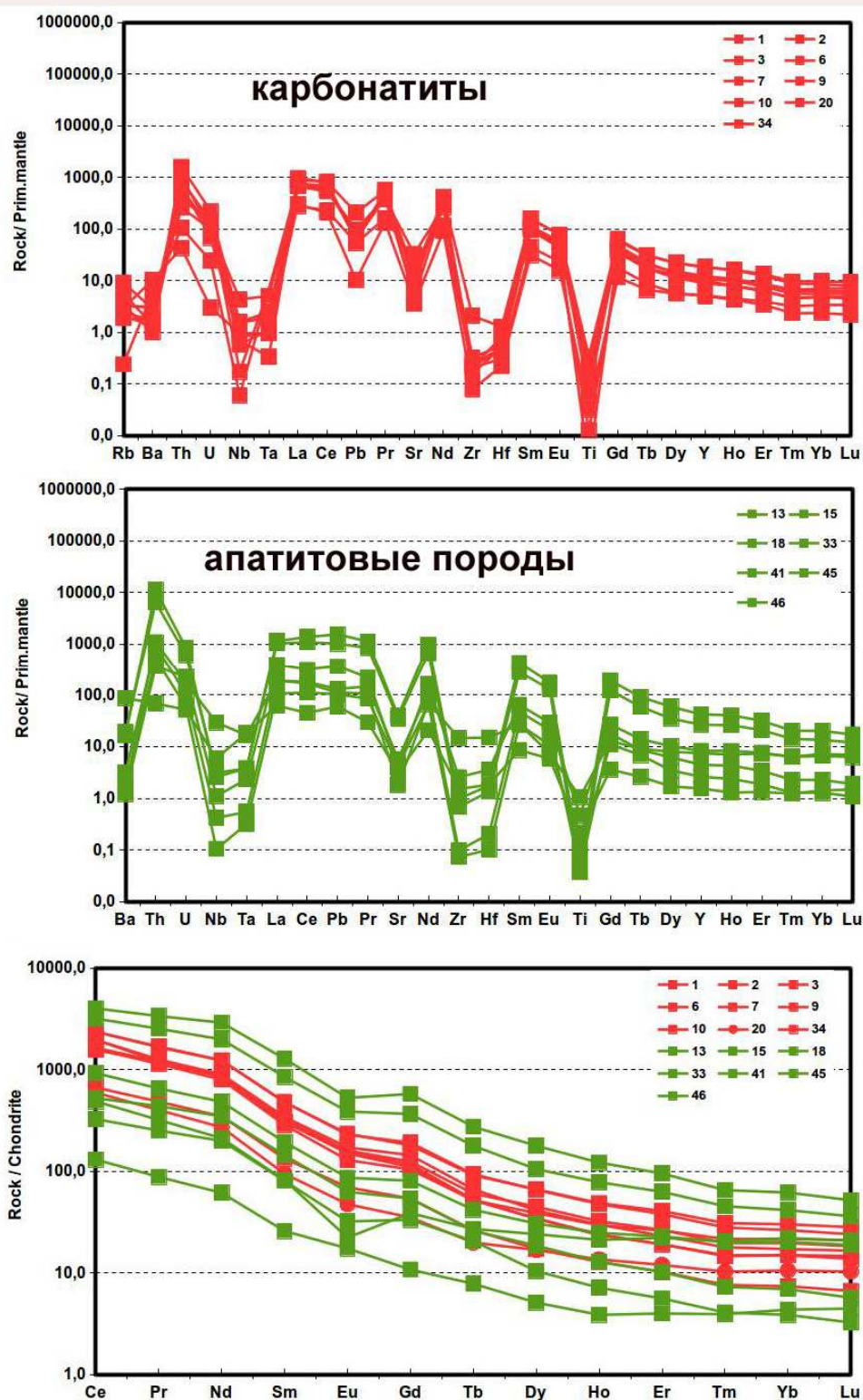


Рисунок 5 Спайдердиаграммы карбонатитов и апатитовых пород и спектры редкоземельных элементов Селиктарского массива.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые получены изотопные возрастные характеристики (методом U-Pb по цирконам) для карбонатитов и лампроитов трех массивов из одной геологической структуры Алданского щита, которые являются самыми древними карбонатитами и щелочными породами мира. Для Хананских лампроитов и карбонатитов (2,6–2,7 млрд лет), для кальцитовых карбонатитов, расположенных в СЗ экзоконтактной зоне Мурунского массива (2,6–2,8 млрд лет) и для Селигдарских карбонатитов (1,8 млрд лет). Геохимическим методом доказано принадлежность последних к карбонатитам [10].

Впервые получены Ar-Ar методом по слюдам и K-минералам 22 возрастных датировок для всех 16 разновидностей пород комплекса (в том числе и карбонатит-чароитовых пород) в пределах 135–130 млн лет [11, 12]. Также получено 4 датировки этих же пород U-Pb методом (впервые) по гранатам, которые совпадают с Ar-Ar данными. Такие близкие по значениям датировок возраста для всех пород комплекса подтверждают образование их путем расслоения первичной щелочно-ультраосновной магмы.

Изучены расплавные и флюидные включения в минералах чароитовых пород [5]. Начинается их кристаллизация при $t = 750$ °C (пироксен) и заканчивается при $t = 450$ °C (другие минералы). Так же получены данные по составу флюидов Ti-месторождения (кварц-брукит-анатазовые жилы), с $t = 520$ °C для брукита и $t = 540$ °C для анатаза. [7].

В чароитовых породах наблюдаются структуры течения и процессы расслоения – капельные и полосчатые, что подтверждает их кристаллизацию из остаточного расплав-флюида.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Владыкин Н.В. Уникальный Мурунский массив ультракалийевых агпаитовых щелочных пород и карбонатитов – магматизм и генезис // Генетические типы рудных месторождений. Прикладная геохимия. – Москва: ИМГРЭ, 2005. – № 7. – С.20 – 43.
2. Владыкин Н.В. Петрология калиево-щелочных лампроит-карбонатитовых комплексов, их генезис и рудоносность // Геология и геофизика. – 2009. – №12 (50). – С. 1443 – 1451.
3. Владыкин Н.В. Модель зарождения и кристаллизации ультраосновных-щелочных карбонатитовых магм Сибирского региона, проблемы их рудоносности, мантийные источники и связь с плюмовым процессом // Геология и геофизика. – 2016. – № 5 (57). – С. 889 – 905.
4. Панина Л.И., Моторина И.В. Щелочные высококальциевые сульфатно-карбонатные расплавные включения в мелилит-монтичеллит-оливиновых породах Маломурунского щелочного массива // Петрология. – 1999. № 6 (7). – С. 653 – 669.
5. Владыкин Н.В., Боровиков А.А., Докучиц Э.Г., Томас В.Г. Генезис чароитовых пород Мурунского массива, Алданский щит, Россия // Геохимия. – 2018. – №12. – С. 1132 –1145.
6. Владыкин Н.В., Симонов В.И., Соколов В.С. Температура образования минералов чароитовых пород // Термобарогеохимия минералообразующих процессов. Летучие компоненты. – Новосибирск: Наука, 1994. – С. 52 – 60.
7. Borovikov A.A., Vladykin N.V., Tretiakova I.G., Dokuchits E.Yu. Physicochemical conditions of formation of hydrothermal titanium mineralization on the Murunskiy alkaline massif, western Aldan (Russia) // Ore Geology Reviews. – 2018. – V. 95. – P. 1066 – 1075.
8. Владыкин Н.В. Геохимия изотопов Sr и Nd щелочных и карбонатитовых комплексов Сибири и Монголии и некоторые геодинамические следствия // Проблемы источников глубинного магматизма и плюмы / ред. Н.В. Владыкин. – Иркутск: Институт географии СО РАН, 2005. – С. 13 – 30.
9. Владыкин Н.В, Лепехина Е.А. Возраст необычных ксеногенных цирконов из кимберлитов Якутии // Доклады академии наук. – 2009. № 6 (429). – С.774 – 778.
10. Doroshkevich A.G., Prokopyev I.R., Izokh A.E., Klemm R., Ponomarchuk A.V., Nikolaeva I.V, Vladykin N.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. – 2017. – V. 154. – P. 354 – 368.

11. Иванов А.В., Горовой В.А., Гладкочуб Д.П., Владыкин Н.В. Первые прецизионные данные о возрасте чароитовой минерализации (Восточная Сибирь) // Доклады Академии наук. – 2018. – № 6(478). – С. 657 – 661.
12. Alexei V. Ivanov, Nikolay V. Vladykin , Elena I. Demonterova , Emilia Y. Dokuchits Geochronology of the Malyy Murun massif, Aldan Shield of the Siberian Craton: a simple story for an intricate igneous complex /Minerals (MDPI) 8,602.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ПРОЕКТА

1. Владыкин Н.В., Боровиков А.А., Докучиц Э.Г., Томас В.Г. Genesis of Charoite Rocks in the Murun Massif, Aldan Shield, Russia // *Геохимия*. – 2018. – №12. – С. 1132 –1145.
2. Borovikov A.A., Vladykin N.V., Tretiakova I.G., Dokuchits E.Yu. Physicochemical conditions of formation of hydrothermal titanium mineralization on the Murunskiy alkaline massif, western Aldan (Russia) // *Ore Geology Reviews*. – 2018. – V. 95. – P. 1066 – 1075.
3. Иванов А.В., Горовой В.А., Гладкочуб Д.П., Владыкин Н.В. Первые прецизионные данные о возрасте чароитовой минерализации (Восточная Сибирь) // *Доклады Академии наук*. – 2018. – № 6(478). – С. 657 – 661.
4. Alexei V. Ivanov, Nikolay V. Vladykin , Elena I. Demonterova , Emilia Y. Dokuchits Geochronology of the Malyy Murun massif, Aldan Shield of the Siberian Craton: a simple story for an intricate igneous complex // *Minerals (MDPI)* 8, 602.
5. Doroshkevich A.G., Prokopyev I.R., Izokh A.E., Klemd R., Ponomarchuk A.V., Nikolaeva I.V, Vladykin N.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*. – 2017. – V. 154. – P. 354 – 368.
6. Котов А.Б., Сальникова Е.Б., Толмачёва Е.В., Склярёв Е.В., Гладкочуб Д.П., Ларин А.М., Великославинский С.Д., Донская Т.В., Владыкин Н.В., Радомская Т.А. Возраст преобразований редкометалльных щелочных гранитов Катугинского массива (Алданский щит) // *Доклады Академии наук*. – 2018. – № 1 (478). – С. 54-58.