

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени М. В. ЛОМОНОСОВА

*На правах рукописи*

**Овсянников Георгий Николаевич**

**Геология, минералогия и петрология островодужного базитового  
первомайско-аюдагского интрузивного комплекса Горного Крыма**

Специальности

1.6.3. Петрология, вулканология

1.6.4. Минералогия, кристаллография. Геохимия, геохимические методы  
поисков полезных ископаемых

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени

кандидата геолого-минералогических наук

Москва - 2026

Диссертация подготовлена на кафедре минералогии и кафедре петрологии и вулканологии геологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

- Научные руководители** *Спиридонов Эрнст Максович – доктор геолого-минералогических наук, профессор*  
*Перчук Алексей Леонидович – доктор геолого-минералогических наук, доцент*
- Официальные оппоненты** *Гульбин Юрий Леонидович – доктор геолого-минералогических наук, доцент, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, кафедра минералогии, кристаллографии и петрографии, зав. кафедрой*  
*Веселовский Роман Витальевич – доктор геолого-минералогических наук, профессор РАН, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра динамической геологии, профессор*  
*Тихомиров Петр Леонидович – доктор геолого-минералогических наук, доцент, Институт геотехнологий, начальник геологического управления*

Защита диссертации состоится «29» мая 2026 года в 14 часов 30 минут на заседании диссертационного совета МГУ.016.5 Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по адресу: 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, Главное здание МГУ, сектор «А», аудитория 415.

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций научной библиотеки МГУ имени М.В. Ломоносова (Ломоносовский просп., д. 27) и на портале <https://dissovet.msu.ru/dissertation/3879>

Автореферат разослан «21» апреля 2026 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
МГУ.016.5 доктор химических  
наук, профессор



Белоконева Е.Л.

## ***I. Общая характеристика работы***

В диссертации рассмотрены геология интрузивов, петрография, минералогия и геохимия горных пород ведущего в Горном Крыму островодужного первомайско-аюдагского комплекса среднеюрского раннебайосского возраста. Интрузивы слагают превалирующие габбронорит-долериты и габбронорит-диориты, ранние кумулятивные плагиолерцолиты, поздние кварцевые диориты и плагиограниты.

### ***Актуальность***

Несмотря на три века исследований и более чем 80-летний период проведения учебных практик студентов-геологов, до сих пор дискуссионны геологическое положение, морфология, механизмы формирования, минеральный состав, номенклатура и возраст многих интрузивных тел Горного Крыма, а также критерии их отличия от развитых там же многочисленных субвулканических образований, нередко весьма сходных с интрузивными. Основная сложность заключается в том, что магматические породы в процессе эпигенетического метаморфизма приобрели зеленокаменный облик, существенно затрудняющий их полевую и лабораторную диагностики. Оливин и ромбический пироксен полностью замещены серпентином, тальком, хлоритом, глинистыми минералами, карбонатами и кварцем, плагиоклаз часто сильно альбитизирован. Кроме того, эндоконтактные зоны интрузивов габброидов и плагиогранитоидов Горного Крыма сложены тонкозернистыми и резко порфирированными породами, которые напоминают эффузивные. Этим обусловлена актуальность данной работы, в ходе которой удалось изучить первичные магматические минералы пород первомайско-аюдагского комплекса, за исключением оливина. Восстановление первоначального состава пород и минералов возможно благодаря крайней неоднородности проявлений низкоградного метаморфизма. Детальный поиск в большинстве случаев позволил обнаружить реликты первичных магматических минералов.

### ***Цели исследования***

1. На современном уровне охарактеризовать геологию, петрографию и минералогия образований первомайско-аюдагского комплекса как эталонного островодужного базитового интрузивного комплекса гипабиссальной фации глубинности.
2. Реконструировать процессы и параметры кристаллизационной дифференциации и коровой контаминации расплавов первомайско-аюдагского комплекса.
3. Охарактеризовать эпигенетический низкоградный метаморфизм для реконструкции первичного состава магматических пород, а также параметров послеинтрузивной истории геологического развития Горного Крыма.

### ***Конкретные задачи исследования***

1. Проанализировать тектоническую позицию, геологическое строение, петрографию, минералогия и геохимию представительных интрузивов

габброидов и плагиогранитоидов островодужного первомайско-аюдагского комплекса мезозойского Горного Крыма. Установить порядок кристаллизации и типоморфизм породообразующих и акцессорных минералов магматических пород с выделением минеральных ассоциаций, используя подходы генетической минералогии.

2. Изучить послемагматические гидротермальные образования и дайки глубинного происхождения, завершающие формирование первомайско-аюдагского комплекса.
3. Исследовать проявления эпигенетического низкоградного метаморфизма и их влияние на минеральный и химический состав магматических пород первомайско-аюдагского комплекса и их физические характеристики.

#### ***Фактический материал, методы исследования, личный вклад автора***

Автором в ходе полевых работ 2017-2021 гг. в районах полигона МГУ, Симферопольского поднятия и Южнобережного Крыма изучены тектоническое положение и геологическое строение представительных интрузивов первомайско-аюдагского комплекса: Аю-Даг и его сателлиты, Лебединский, Кушнарёвский (Первомайский), Донузоран, Уртапай, Лозовской (Ферсмановский), Чамны-Бурун, Джидайрский, Мендерский; отобрано более 100 штуфных образцов, выполнены фотографии, зарисовки, замеры магнитной восприимчивости пород (каппаметрия) и квадрокоптерные полеты с целью картирования отдельных магматических тел и пород рамы интрузивов. Первичная пробоподготовка образцов (распиловка, шлифовка, дробление и истирание проб) выполнена автором.

Фотографирование образцов горных пород произведена при помощи фотобокса с двусторонней светодиодной подсветкой. Сканирование полированных образцов произведена при помощи сканера Epson Perfection V370 Photo. Фотографирование шлифов выполнено автором при помощи поляризационного микроскопа Zeiss Axioplan 2 кафедры минералогии и поляризационного микроскопа Nikon LV100N Pol кафедры петрологии и вулканологии МГУ. Содержания главных петрогенных элементов и некоторых микроэлементов в интрузивных породах определялись методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) на вакуумном спектрометре последовательного действия Axios mAX (PANalytical) в ЦКП "ИГЕМ-аналитика" ИГЕМ РАН (аналитик А.И. Якушев). Химический состав минералов изучен с помощью аналитического комплекса с комбинированной системой микроанализа на базе СЭМ Jeol JSM-IT500 (Лаборатория локальных методов исследования вещества кафедры петрологии геологического факультета МГУ, аналитик Н.Н. Коротаяева). Петрологическое моделирование процессов кристаллизации проведено по программе Comagmat 5 (Ariskin et al., 2012).

#### ***Научная новизна***

1. Изучение силлообразных интрузивов в верховьях р. Бодрак, пологозалегающих интрузивных тел Лозовского массива и многочисленных ранних внедрений интрузива Аю-Даг в бухте Панаир позволили связать внедрение расплавов островодужного габброидного первомайско-аюдагского

- комплекса мезозойд Горного Крыма с донузранским эпизодом складчатости в раннем байосе, когда произошла дополнительная деформация сложноскладчатых флишевых толщ таврической и эскиордынской серий.
2. Установлено, что состав горных пород островодужного базитового первомайско-аюдагского интрузивного комплекса мезозойд Горного Крыма варьирует от плагиолерцолитов до плагиогранитов. Минеральные ассоциации (МА) кумулятивных плагиолерцолитов, преобладающих известково-щелочных анортит-битовнитовых габбронорит-долеритов, габбронорит-диоритов, плагиогранитоидов близко отвечают реакционному ряду Н.Л. Боуэна, пополненному нами акцессорными минералами Cr, Ti, V, REE, Y, Zr, Th, закономерно сопряжёнными с породообразующими минералами.
  3. Тренд эволюции хромшпинелидов первой генерации: хромшпинель → алюмомагнезиохромит (декомпрессионный). Тренд хромшпинелидов второй генерации: алюмохромит → Ti-Al феррихромит → хромтитаномагнетит: (снижения температуры кристаллизации и роста  $f O_2$ ) В более крупных интрузивах (Аю-Даг, Чамны-Бурун и др.) хромшпинелиды почти полностью растворены.
  4. Данные по плагиоклазу пород первомайско-аюдагского комплекса, состав которого варьирует от анортита An 94-91 со следами калия и содержащего до 1 мас. % Fe, до альбит-олигоклаза An 9-12 с 1.4 мас. %  $K_2O$  со следами железа.
  5. В горных породах первомайско-аюдагского комплекса обнаружен ряд минералов лантанидов: цирконолит-(Ca), цирконолит-(Y), чевкинит-(Ce), перрьерит-(Ce); наиболее распространены, разнообразны и информативны редкоземельные минералы группы эпидота: от ранних Ti ферриалланита-(Ce), Ti и Ti-V алланита-(Ce) до позднего алланита-(Y) и от REE-эпидота до Y-эпидота. Наличие алланита, REE-эпидота, Y-эпидота в ассоциации с биотитом, паргаситом и эденитом - один из критериев отличия островодужных плагиогранитов Крыма (габброидных) от крымских послеостроводужных плагиогранитов (гранитоидных) с монацитом и ксенотимом в ассоциации с фаялитом и феррогортонитом.
  6. Установлено, что в низкоградно метаморфизованных тектонизированных габброидах и плагиогранитоидах с пренитом, пумпелиитом-(Fe), пумпеллиитом-(Al) ассоциируют альбит, кальцит, апофиллит, датолит, гиролит, бабингтонит и Fe-Al-Mg хлориты. Метаморфизованные зеленокаменные габброиды первомайско-аюдагского комплекса пересечены дайками кайнотипных керсутитовых лампрофиров раннемелового возраста.
  7. Установлено, что эпигенетичный низкоградный метаморфизм позднеюрского возраста привёл к крайне неоднородному снижению магнитной восприимчивости допозднеюрских горных пород всех типов в мезозойдах Горного Крыма.

### ***Теоретическая и практическая значимость работы***

Полученные результаты значимо уточнили представления по тектонической позиции, геологическому строению, петрографии и минералогии, номенклатуре наиболее распространённых магматических образований Горного Крыма – габброидов и плагиогранитоидов первомайско-аюдагского комплекса. Установлены принципиальные отличия условий внедрения интрузивов гипабиссальной фации от более глубинных. Реакционная схема Н.Л. Боуэна из эволюционирующих порообразующих минералов дополнена закономерно связанными с ними акцессорными минералами Cr, Ti, Zr, REE, Th. Изучен полный «жизненный» цикл редкоземельных минералов группы эпидота: зарождение путём замещения магматических чевкинита-(Ce) и перрьерита-(Ce), эволюция в ходе магматической дифференциации с истощением лантана, затем – церия, накоплением неодима, затем иттрия и иттриевых редких земель; полное замещение монацитом-(Ce) и ксенотимом-(Y) при формировании послеинтрузивных гидротермальных рутил-кварц-кальцит-хлорит-альбитовых метасоматитов. Установлен новый – метаморфогенно-гидротермальный генетический тип псевдобрукита и псевдорутила.

Полученные результаты используются при проведении учебных крымских геологических практик Московского университета. Каменный материал, собранный автором, пополнил коллекцию музея Крымского учебно-научного центра МГУ имени проф. А. А. Богданова. Часть полученных результатов включена в учебный курс «Генетическая минералогия» геологического факультета МГУ.

### ***Защищаемые положения***

(1) Ведущий процесс образования горных пород гипабиссального островодужного первомайско-аюдагского плагиоперидотит-габбронорит-габброноритдиорит-кварцдиорит-плагиогранитного комплекса в мезозоидах Горного Крыма – кристаллизационная дифференциация. Минеральные ассоциации интрузивных пород близко отвечают реакционному ряду Н.Л. Боуэна. В составе интрузивных пород выделяются семь ассоциаций порообразующих минералов, дополненных совокупностью акцессорных минералов Cr, Ti, V, Zr, REE, Y, Th.

(2) Главным носителем REE и Th в породах первомайско-аюдагского комплекса является алланит, который в габброидах заместил чевкинит-(Ce) и перрьерит-(Ce). В биотит-кварцевых габброидах это - Ti-ферриалланит-(Ce), Ti-алланит-(Ce), алланит-(Ce), алланит-(Y), REE-эпидот, Y-эпидот; в плагиогранитоидах – Ti-алланит-(Ce), алланит-(Ce), REE-эпидот. В послеинтрузивных гидротермальных метасоматитах редкоземельные минералы группы эпидота замещены монацитом и ксенотимом.

(3) Минеральный и химический состав интрузивных и дайковых пород первомайско-аюдагского комплекса был существенно преобразован в ходе эпигенетического регионального низкоградного метаморфизма погружения. Его первый этап - в условиях цеолитовой фации, второй этап в условиях пренит-пумпеллиитовой фации, третий этап в условиях цеолитовой фации.

## ***Апробация работы***

По теме работы опубликованы 6 статей, 5 из них в журналах, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ имени М. В. Ломоносова по специальности и отрасли наук.

Результаты исследований по теме диссертации докладывались и обсуждались на Ломоносовских чтениях МГУ им. М.В. Ломоносова 2019-2024 гг., международных конференциях «В кильватере большого корабля: современные проблемы магматизма, метаморфизма и геодинамики» (Черноголовка, 2018, 2023); XXVI Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов» (Москва, 2019); Международной конференции «Петрология и геодинамика геологических процессов» (Иркутск, 2021); X Российской молодежной научно-практической школе «Новое в процессах рудообразования» (Москва, 2021); Международной конференции «Современные проблемы развития геохимии» (Иркутск, 2022); XIV Всероссийском петрографическом совещании с международным участием «Петрология и геодинамика геологических процессов в изучении недр и геологическом картографировании» (Санкт-Петербург, 2025). Опубликовано тезисы 15 докладов.

## ***Объем и структура работы***

Диссертация состоит из введения, пяти глав, итогов исследования, заключения и списка литературы. Общий объем работы – 204 страницы. Текст сопровождают 191 иллюстрация (карты, рисунки, графики, диаграммы, фотографии) и 48 таблиц. Список литературы включает 222 наименования.

### ***Связь исследований с программами (проектами), научной тематикой***

Исследования в 2016-2021 гг. проведены по проектам Российского фонда фундаментальных исследований: № 16-05-00241 «Островодужные магматические и метаморфические образования киммерид Горного Крыма» и № 19-05-00490 «Послеостроводужные магматические и метаморфические образования киммерид Горного Крыма». В дальнейшем - по тематике научно-исследовательских работ кафедры минералогии геологического факультета МГУ; результаты отражены в публикациях и научных отчетах. Исследования выполнены с использованием оборудования, полученного по программе развития МГУ имени М.В. Ломоносова. Основное содержание работы

## ***II. Основное содержание работы***

### ***Глава 1. История изучения магматизма Горного Крыма***

Приведен обзор исследований магматизма Горного Крыма с конца XVIII века до наших дней.

### ***Глава 2. Методы исследования***

Описаны полевые и лабораторные методы, использованные при изучении интрузивов мезозойд Горного Крыма и слагающих их горных пород.

### ***Глава 3. Геология Горного Крыма. Литературный обзор***

Рассмотрена геология, тектоника и история развития мезозоид Горного Крыма. Особое внимание уделено среднеюрским островодужным магматическим образованиям, процессам и продуктам эпигенетичного низкоградного метаморфизма позднеюрского возраста.

### ***Глава 4. Первомайско-аюдагский интрузивный комплекс Горного Крыма***

#### ***Геология и петрография интрузивов первомайско-аюдагского комплекса***

Дана характеристика тектонической позиции, геологического строения интрузивов Лозовской тектонической зоны (Донузоран, Лебединский, Уртапай, Джидайрский, Лозовской, Первомайский-Кушнаревский, Мендерский (часть их показана на рис.1) и Горнокрымской тектонической зоны (Аю-Даг, Партенит, ЮЗ Кастели, Чамны-Бурун) и петрография слагающих их горных пород.

#### ***Механизмы внедрения интрузивов первомайско-аюдагского комплекса***

Изучение силлообразных интрузивов долины р. Бодрак, пологозалегающих интрузивов Лозовского массива и многочисленных ранних внедрений Аю-Дага в бухте Панаир позволили связать внедрение расплавов первомайско-аюдагского комплекса мезозоид Горного Крыма с донузоранским эпизодом складчатости в раннем байосе или на границе аален-байос, когда произошла дополнительная деформация сложноскладчатых флишевых толщ. Согласно эффекту Эйлера, при смятии слоистых сред в них возникают полости, «работающие как помпы», происходит процесс всасывания. В результате, первые порции расплава далеко опередили основной магматический «фронт», в эндоконтактах всех интрузивов комплекса возникли эффузивоподобные резко порфиroidные тонко- и мелкокристаллические и миндалекаменные породы. Это ярко выявляет гипабиссальные условия становления интрузивов первомайско-аюдагского комплекса. Поэтому преобладающие габброиды называются габбронорит-долеритами, а не габброноритами; В результате образования многочисленных миндалин, нередко крупного размера, расплав потерял существенное количество водяного пара. Это одна из причин развития узких ореолов высокотемпературного контактового метаморфизма, небольшого количества магматических биотита и амфиболов в интрузивных породах.

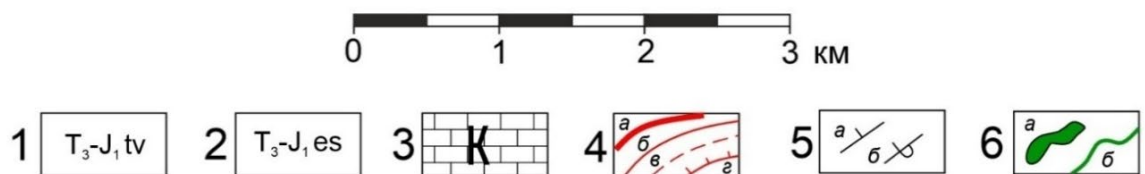
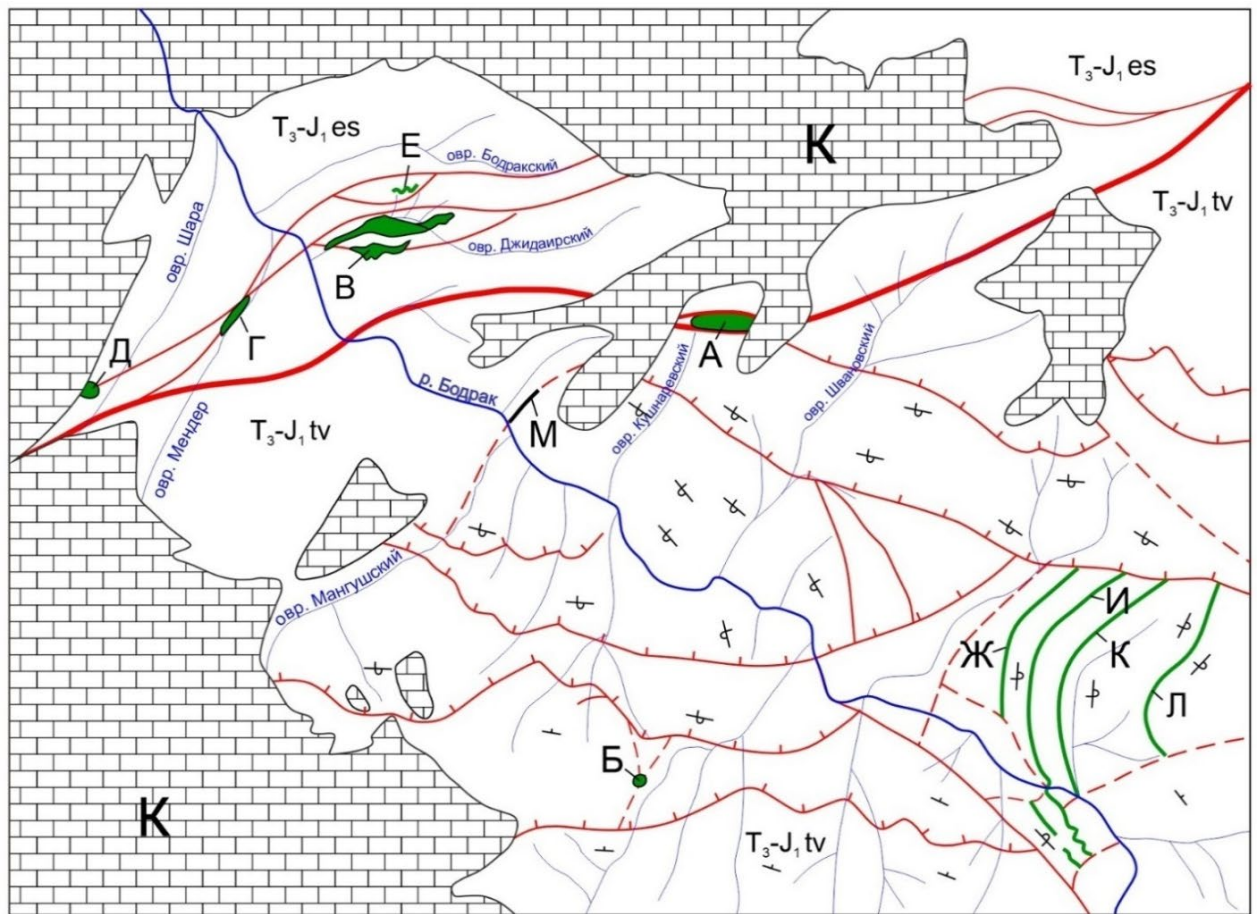


Рисунок 1. Схема размещения интрузивов первомайско-аюдагского комплекса. Фрагмент Качинского поднятия Лозовской тектонической зоны в долине реки Бодрак, Горный Крым

Составили Э.М. Спиридонов, М.Ю. Никитин, С.В. Филимонов, **Г.Н. Овсянников**, Арк.В. Тевелев, И.В. Шалимов. Геологическая основа по Д.И. Панову (1983) и М.Ю. Никитину (2018). Условные обозначения: 1 – таврическая серия, флиш (Горнокрымская зона), 2 – эскиординская серия, флиш (Лозовская зона), 3 – осадочные отложения мелового возраста, 4 – разрывные нарушения: а – региональный Бодракский разлом, б – взбросы и сбросы, в – надвиги, 5 – элементы залегания осадочных пород: а – нормальное, б - опрокинутое. 6 – первомайско-аюдагский интрузивный комплекс: а – штоки и линзообразные интрузивы (А – Первомайский (Кушнаревский), Б – Донузоран, В – Джидайрский, Г – Мендерский, Д – Шаринский), б – силлообразные интрузивы (Е – Уртапай, Ж – Лебединского, И, К, Л – соседние тела, М – дайка у р. Бодрак). Б, Е, Ж, И, К, Л, М – оливиновые габбронорит-долериты. В, Г, Д – оливинсодержащие, безоливиновые, кварцевые габбронорит-долериты. А – кварцевые габбронорит-долериты, кварцевые габбронорит-диориты, кварцевые диориты, тоналиты, плагиограниты. Мощности интрузивных тел показаны вне масштаба

### *Химический состав магматических пород первомайско-аюдагского комплекса*

Представительные анализы ведущих типов магматических пород комплекса приведены в таблице 1. Как видно, это типичные известково-щелочные магматические породы повышенной железистости, низко калиевые и низко титанистые, бедные фосфором.

*Таблица 1. Химический состав (мас. %) магматических пород первомайско-аюдагского комплекса*

Интрузивы	Балаклава	Донуз-оран	Лебединский	Джидаир	Аю-Даг	Первомайский	Первомайский
Породы	1	2	2	3	3	4	5
SiO <sub>2</sub>	37,46	47,07	47,49	49,03	52,28	53,43	68,51
TiO <sub>2</sub>	0,16	1,08	0,84	0,82	0,97	0,70	0,43
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,86	16,82	15,02	16,52	16,65	18,60	12,90
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,28	8,97	8,97	9,87	10,70	8,63	3,79
MnO	0,13	0,15	0,16	0,20	0,18	0,20	0,08
MgO	23,07	6,59	6,90	3,46	3,65	2,76	0,77
CaO	4,04	10,66	9,56	8,37	9,34	7,13	4,87
Na <sub>2</sub> O	0,18	1,92	1,96	1,83	2,66	3,41	3,37
K <sub>2</sub> O	0,08	0,51	0,31	0,35	0,78	1,04	0,80
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,11	0,18	0,26	0,10	0,12	0,27	0,10
S	0,09	0,25	0,11	0,08	0,03	0,02	0,03
ппп	16,12	6,58	8,15	9,20	2,47	3,63	5,23

*Примечание. 1. Плагииолерциты; 2. Оливиновые габбронорит-долериты. 3. Габбронорит-долериты. 4. Габбро-диориты. 5. Плагииограниты*

Содержание микроэлементов в горных породах первомайско-аюдагского комплекса приведены в работах (Meijers et al., 2010; Отчет о результатах..., 2019; Шнюкова, 2013). Характер распределения микроэлементов в магматических породах первомайско-аюдагского комплекса отвечает островодужному, проявлены отрицательная Nb аномалия, преобладание крупноионных литофильных элементов (LILE) над высокозарядными, положительная аномалия Pb (рис. 2). Более широкие вариации Cs, Sr, Ti и K в породах первомайско-аюдагского комплекса могут объясняться влиянием эпигенетичного низкоградного метаморфизма; широкие вариации Th, U и Zr – наличием ксеногенных циркона и торита, богатого ураном (Спиридонов и др., 2018а, 2019а), а некоторое обогащение легкими лантанидами – наличием в породах редкоземельных минералов группы эпидота. Повышенное содержание Ta, LREE, Th, U и Zr может быть интерпретировано как влияние коровой контаминации.

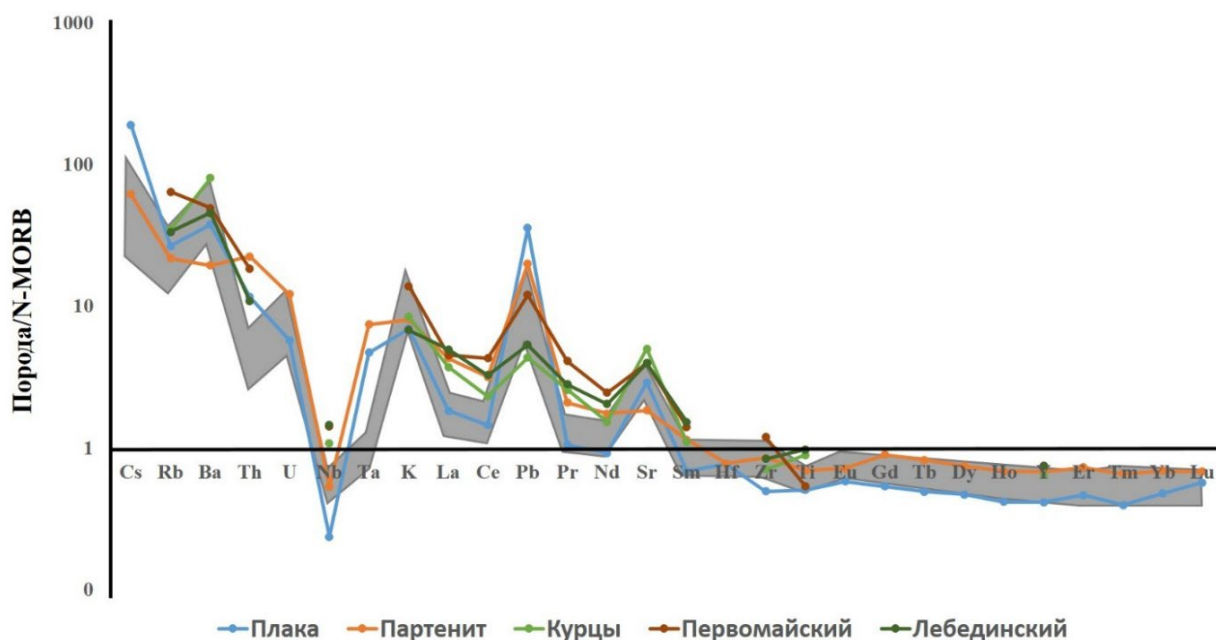


Рисунок 2. Спектры распределения микроэлементов магматических пород первомайско-аюдагского комплекса (цветные линии), содержание нормировано на N-MORB по (Sun, McDonough, 1989). Спектры распределения микроэлементов островодужных пород Ключевского и Безымянного вулканов приведены по (Almeev et al., 2013), серое поле. Вертикальный масштаб – логарифмический

### **Минералы и минеральные ассоциации магматических пород первомайско-аюдагского комплекса**

По результатам изучения сростаний, обрастания, замещения, пересечения, установлено, что магматические горные породы интрузивов первомайско-аюдагского комплекса слагают семь минеральных ассоциаций породообразующих и акцессорных минералов (рис. 3). Схема минеральных ассоциаций построена для изученных интрузивов, с учётом примерной доли каждой минеральной ассоциации в объеме конкретного интрузива. Интрузивы расположены в порядке возрастания в их составе поздних минеральных ассоциаций, которые отвечают поздним стадиям магматической дифференциации (рис. 3). Минеральные ассоциации (МА) кумулятивных плагиолерцолитов, преобладающих анортит-битовнитовых габбронорит-долеритов и габбронорит-диоритов, поздних плагиогранитоидов близки к реакционному ряду Н.Л. Боуэна, дополненному серией закономерно сопряжённых с породообразующими минералами акцессорных минералов хрома, титана, ванадия, лантанидов, иттрия, циркония, тория.

#### **Хромшпинелиды**

Хромшпинелиды – единственные минералы 1 МА и 2 МА, сохранившиеся при процессах низкоградного метаморфизма. Хромшпинелиды 1 МА слагают мелкие включения во вкрапленниках оливина I, их состав изменяется от хромшпинели (до хромгерцинита) в небольших и в ядрах более крупных кристаллов оливина до алюмомагнезиохромита во внешней части более крупных кристаллов оливина (рис. 4). Наиболее ранние кристаллы

хромшпинели минимально хромистые Cr# 34 и максимально глинозёмистые Al# 49 (ан. № 1, табл. 2).

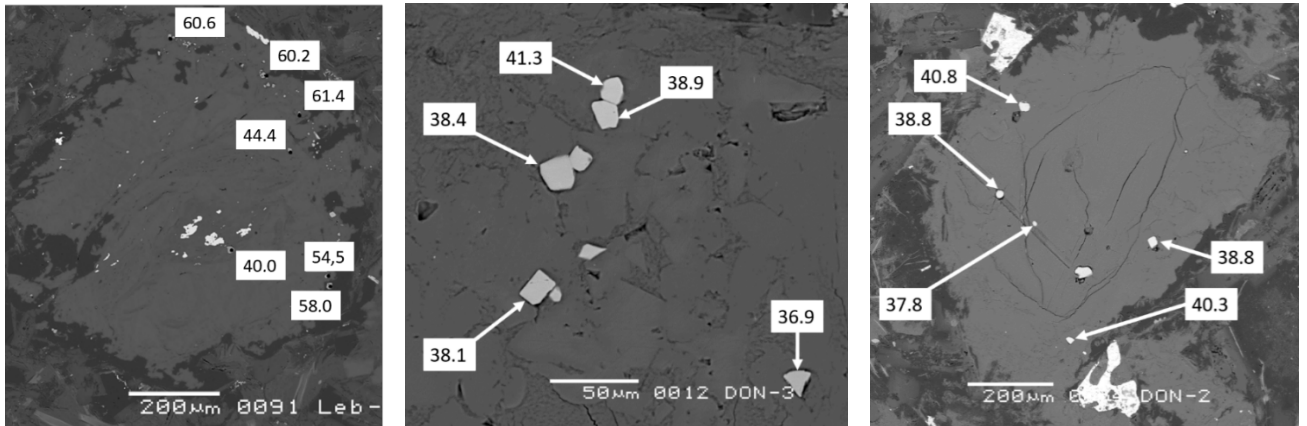


Рисунок 4. Включения хромшпинели и алюмомагнезиохромита во вкрапленниках оливина I. Хромистость шпинелидов возрастает от центра кристаллов оливина к их внешней зоне. В отражённых электронах. Оливиновые габбронорит-долериты интрузива Лебединский (слева), Донузоран (в центре и справа).

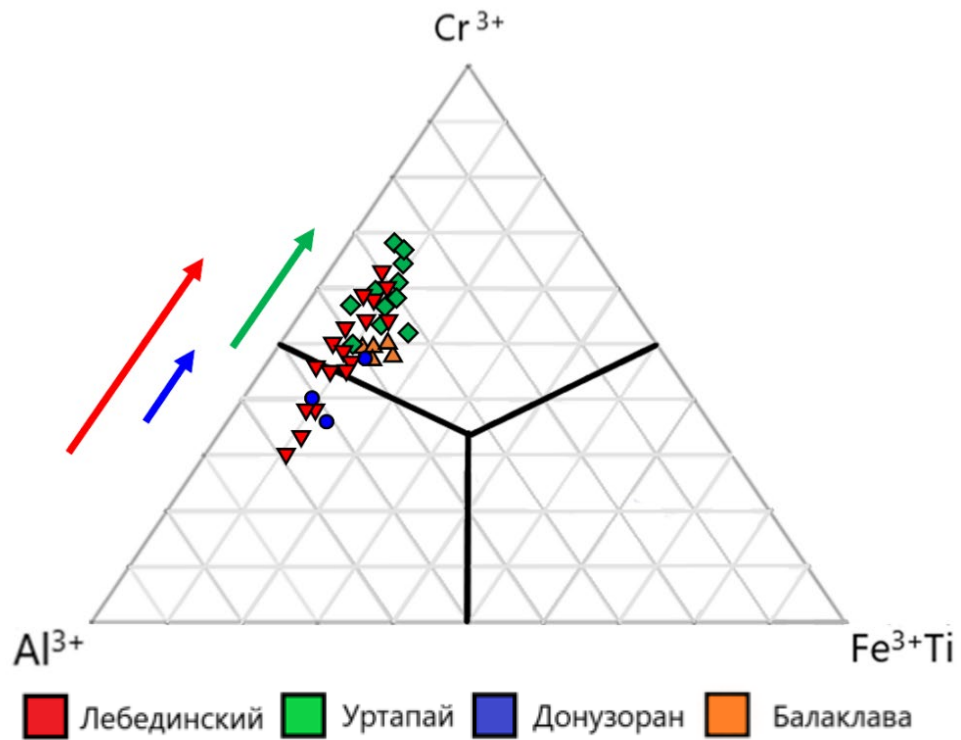


Рисунок 5. Состав хромшпинели и алюмомагнезиохромита I MA. Эволюции составов показаны стрелками.

Хромшпинелиды 2 MA слагают включения в кристаллах оливина II и обособленные выделения в матрице плагиоферцолитов и меланократовых оливиновых габбронорит-долеритов. Обычно это зональные и осцилляционно-зональные кристаллы с ядрами алюмохромита, Ti алюмохромита с оторочками Al хромтитаномagnetита (рис. 6).

## МИНЕРАЛЬНЫЕ АССОЦИАЦИИ ГОРНЫХ ПОРОД ИНТРУЗИВОВ ОСТРОВОДУЖНОГО ПЕРВОМАЙСКО-АЮДАГСКОГО КОМПЛЕКСА МЕЗОЗОИД ГОРНОГО КРЫМА

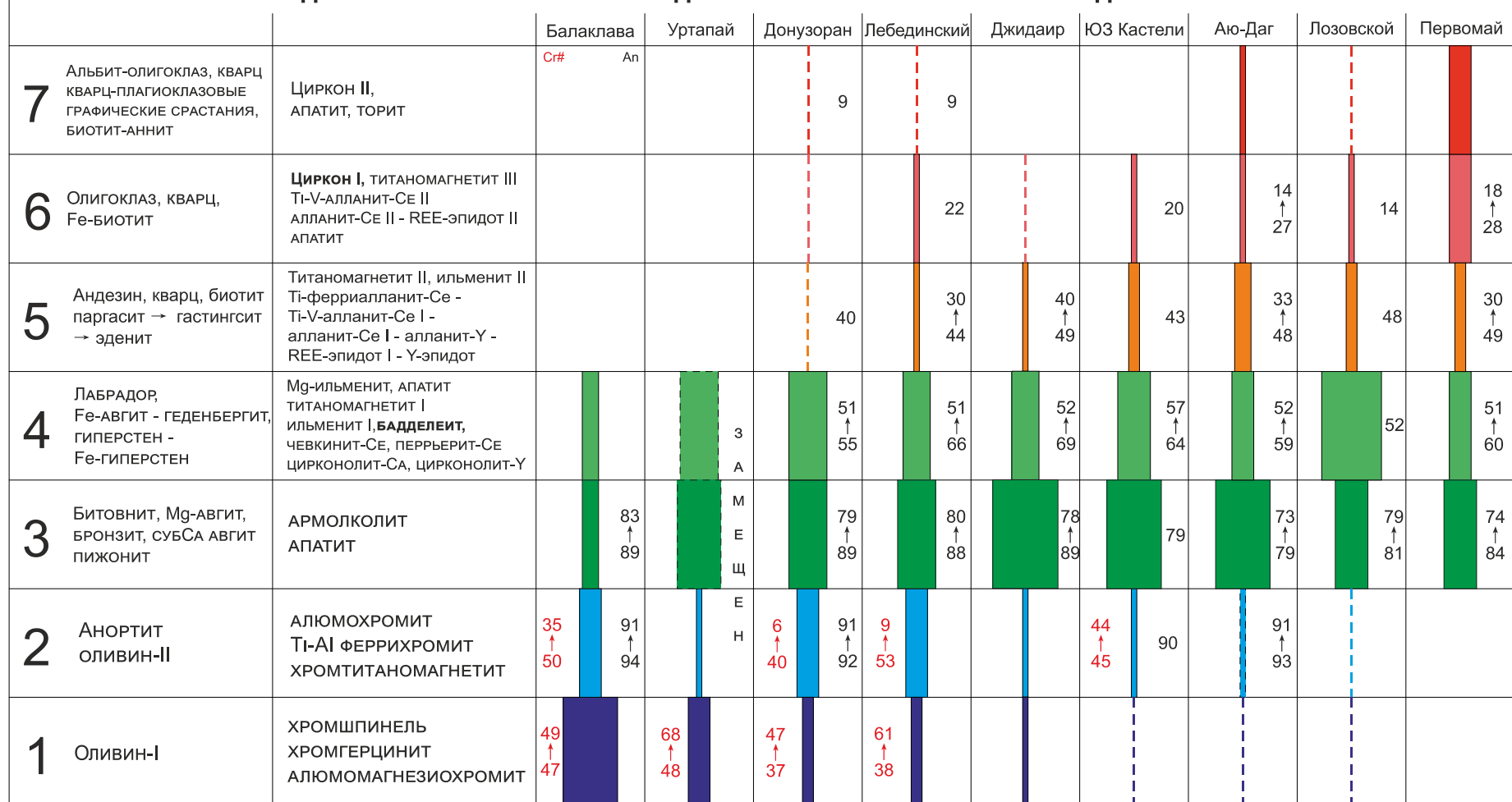


Рисунок. 3. Схема минеральных ассоциаций горных пород островодужного первомайско-аюдагского интрузивного комплекса мезозой Горного Крыма. Красные цифры – хромистость (ат. %) хромшпинелидов, красные стрелки - её эволюция; чёрные цифры – состав плагиоклаза (An, %), чёрные стрелки - его эволюция. Составили Э.М. Спиридонов и Г.Н. Овсянников

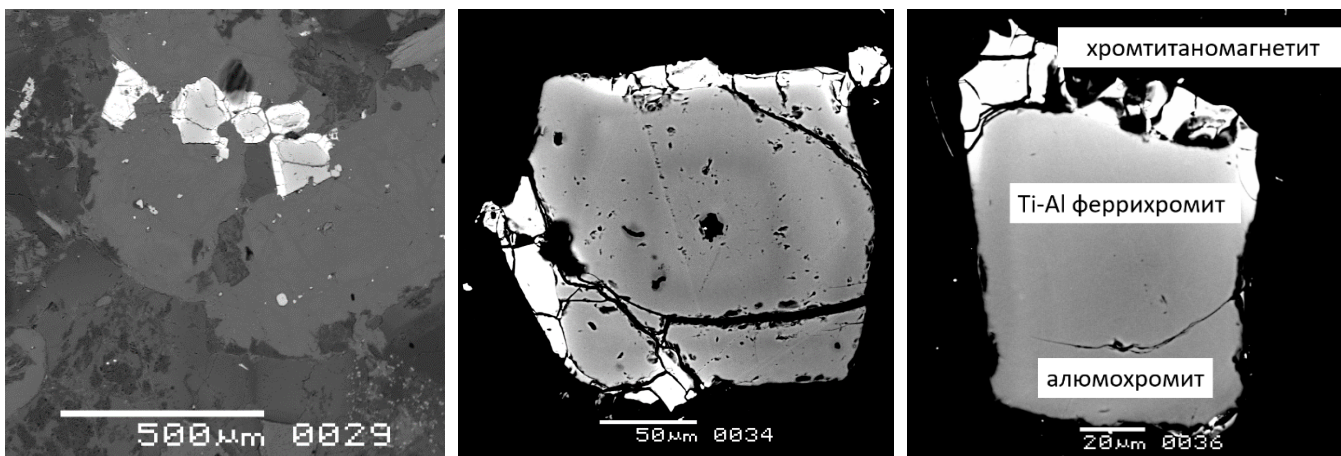


Рисунок 6. Включения хромшпинелидов 2 МА в оливине II оливиновых габбронорит-долеритов Лебединского. Слева – группа зональных кристаллов. В центре – осцилляционно-зональный алюмохромит с оторочкой хромтитаномагнетита. Справа – зональный кристалл: алюмохромит → Ti-Al феррихромит → хромтитаномагнетит. В отражённых электронах

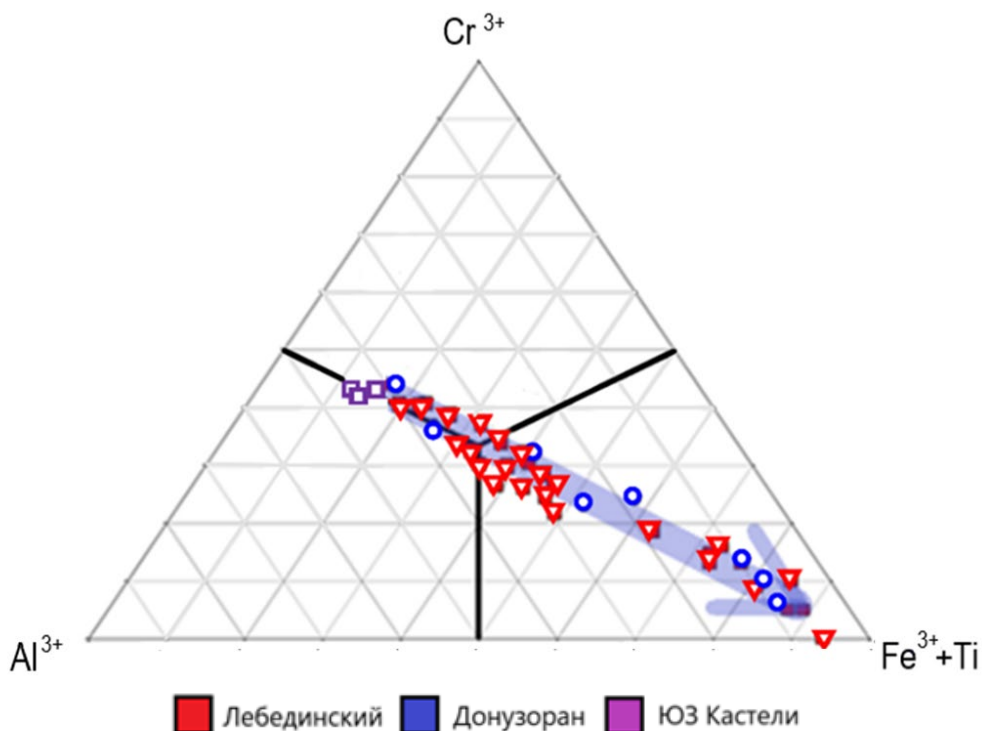


Рисунок 7. Состав и эволюция состава алюмохромита, Ti-Al феррихромита, хромтитаномагнетита, хромшпинели 2 МА. Голубая стрелка – общий тренд эволюции

Итак, выявлено своеобразие эволюции хромшпинелидов (рис. 5, 7, 8). Включения высокоAl бронзита свидетельствуют, что кристаллизация ранней хромшпинели началась при  $P \sim 9-10$  кбар, судя по пироксеновому геобарометру (Putirka, 2008); включения высокоAl паргасита свидетельствуют, что она продолжилась при 5-6 кбар и 1050-990 °C, судя по амфиболовому геотермобарометру (Ridolfi, 2021). Тренд эволюции хромшпинелидов 1 МА (рис. 5):

хромшпинель → алюмомагнезиохромит, по-видимому, отвечал изотермической кристаллизации на фоне снижения давления, т.е. при всплывании расплава; проявлен во всех интрузивах комплекса. Тренд хромшпинелидов 2 МА (рис. 7, 8): алюмохромит → Ti-Al феррихромит → хромтитаномагнетит – тренд снижения температуры кристаллизации и роста  $f_{O_2}$  типичен для островодужных базитов. Различие состава и эволюции состава хромшпинелидов мелких интрузивных тел оливиновых габбронорит-долеритов, расположенных недалеко друг от друга в долине реки Бодрак (Уртапай, Донузоран, Лебединский), указывает на существование для них обособленных промежуточных магматических очагов. В более крупных интрузивах (Аю-Даг, Чамны-Бурун и др.), где интенсивно проявлена дифференциация с накоплением кремнезёма, хромшпинелиды почти полностью растворены, возник хромсодержащий титаномагнетит.

Таблица 2. Химический состав (мас. %) основных типов хромшпинелидов 1 МА – хромшпинель (ан. № 1-2), алюмомагнезиохромит (ан. № 3-4), 2 МА – алюмохромит (№ 5-6), хромтитаномагнетит (№ 7-8). Интрузив Лебединского.

№№	1	2	3	4	5	6	7	8
MgO	13,77	13,39	12,14	11,47	11,31	12,15	0,11	нпо
NiO	0,12	0,14	0,21	0,16	0,20	0,20	нпо	нпо
FeO	14,44	14,69	15,59	16,62	17,76	16,24	35,69	37,48
MnO	0,30	0,36	0,44	0,26	0,33	0,36	1,05	1,30
ZnO	0,19	0,15	0,13	0,14	0,14	18,00	8,15	7,20
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31,23	33,54	46,39	47,82	42,44	36,97	11,48	9,23
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	26,70	24,78	14,95	13,34	21,06	18,66	7,04	6,53
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,43	9,56	9,34	9,05	5,67	13,45	20,85	21,49
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,24	0,21	0,21	0,17	0,14	0,17	1,49	1,46
TiO <sub>2</sub>	0,77	0,55	0,70	0,61	0,40	1,00	13,15	14,35
сумма	98,19	98,42	100,10	99,64	99,25	99,20	99,01	99,04
Cr#	38	41	59	61	53	46	17	14
Al#	48	47	25	26	39	35	15	14
Fe3+Ti#	14	12	13	13	8	19	68	72
f	38	39	43	45	47	44	99	100

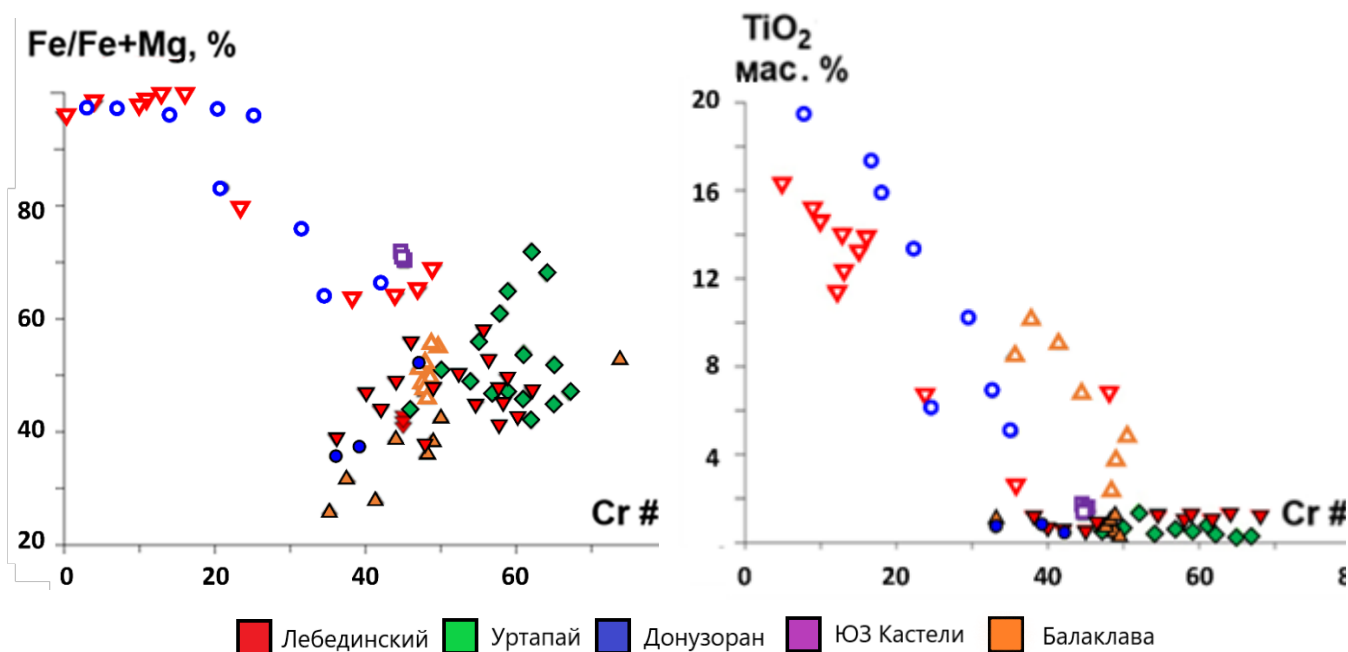


Рисунок 8. Состав и эволюция состава хромитинелидов оливиновых габбронорит-долеритов и плагиолерцолитов описанных интрузивов. Залитые значки: хромитинелиды 1 МА, пустые – 2 МА

### Плагиоклаз

Плагиоклаз – главный породообразующий минерал габброидов и плагиогранитоидов комплекса. Состав плагиоклаза варьирует от анортита и битовнита в оливиновых габброидах и плагиолерцолитах, через битовнит и лабрадор, преобладающие в кварцевых габброидах, до андезина, олигоклаза и альбит-олигоклаза плагиогранитоидов. В породах первомайско-аюдагского комплекса от анортита к альбит-олигоклазу содержание калия возрастает по экспоненте от следов до 1.4 мас. %  $K_2O$  (рис. 9), что характерно и для островодужных пород Камчатки (Волынец, Колосков, 1976; Давыдова и др., 2018); при этом, содержание железа снижается от ~ 1 мас. % в анортите до следов в альбит-олигоклазе.

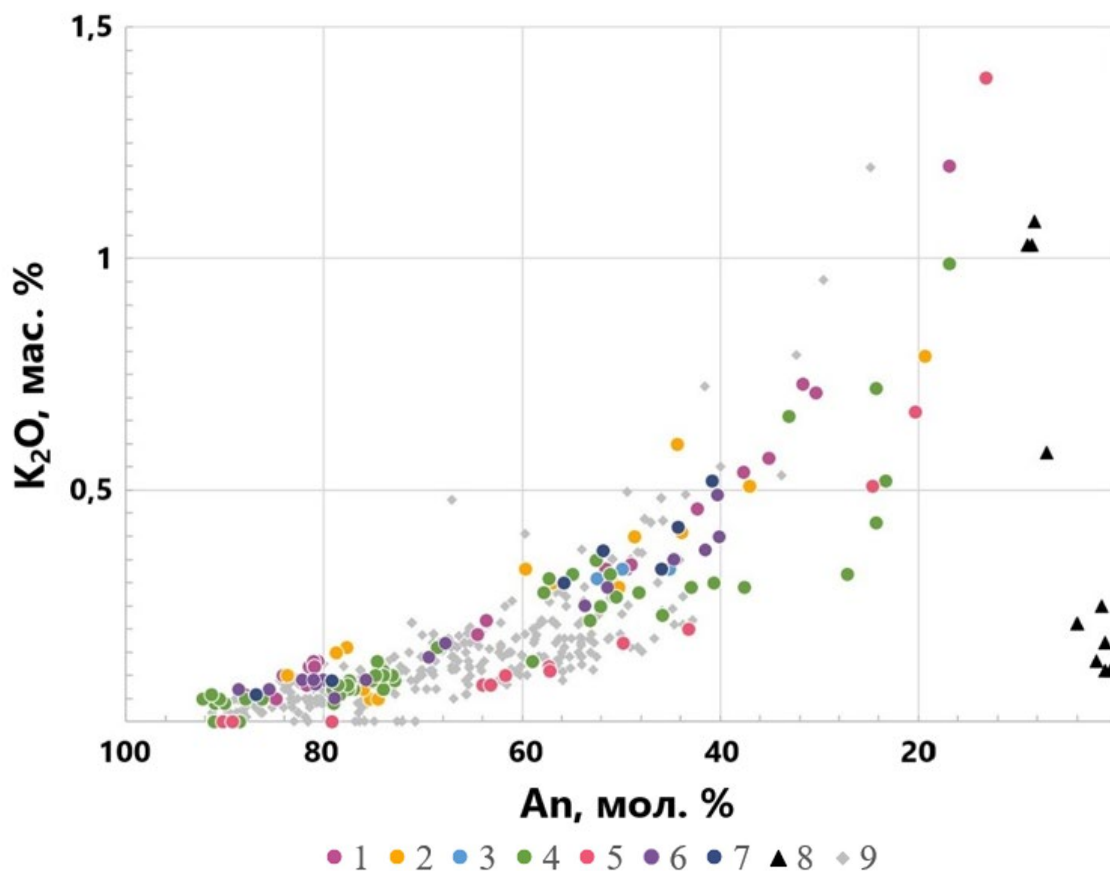


Рисунок 9. Состав плагиоклаза интрузивных пород первомайско-аюдагского комплекса в координатах: содержание анортита (мол. %) – содержание оксида калия (мас. %).  
 Интрузивы: 1 – Лебединского, 2 – Первомайского (Кушнаревского) 3 – Балаклары, 4 – Аю-Даг, 5 – ЮЗ Кастели, 6 – Донузоран, 7 – Джидаир, 8 – плагиоклаз низкоградно метаморфизованных пород

### **Моноклинные и ромбические пироксены**

Магнезиальный авгит, бронзит и пижонит входят в состав 3 МА; ферроавгит, субкальциевый ферроавгит, гиперстен, феррогиперстен, пироксены, близкие к ферросалиту и геденбергиту, – в 4 МА. Пироксены 3 МА, судя по диаграмме (Lindsley, Andersen 1983), кристаллизовались при 1200-1100 °С (рис. 10). Пироксены 4 МА – существенно более низкотемпературные, вплоть до 800 °С и ниже. Интереснейшая особенность авгита пород комплекса – крайне высокая для островодужных магматитов глинозёмистость: авгит интрузивов Южнобережного поднятия содержит до 4 мас. %  $Al_2O_3$ , авгит интрузивов Качинского поднятия (полигон МГУ) – до 8 мас. %  $Al_2O_3$ .

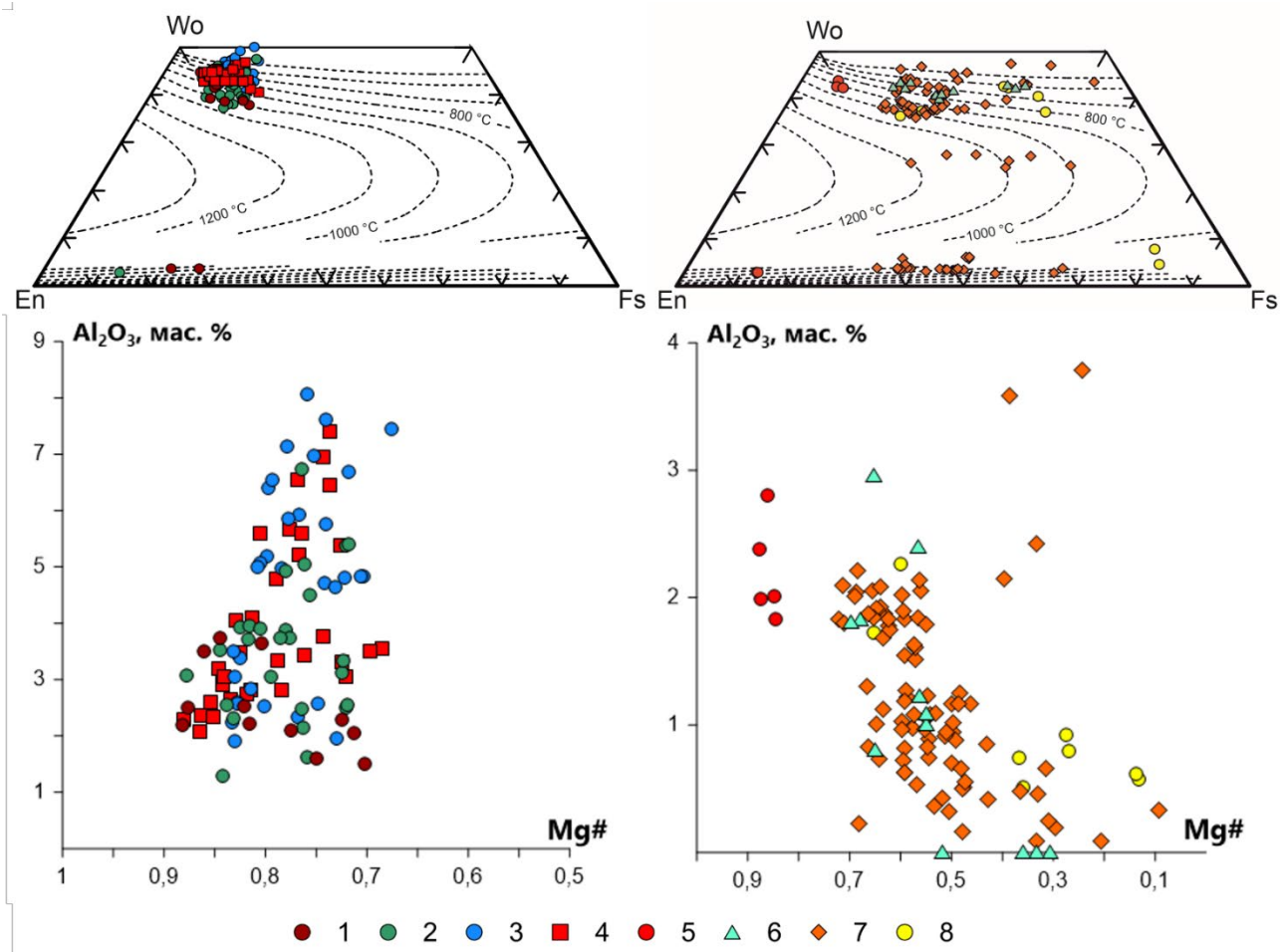


Рисунок 10. Состав пироксенов габброидов первомайско-аюдагского комплекса. Вверху: диаграммы в координатах En-Fs-Wol, изотермы по (Lindsley, Anderson, 1983). Внизу – диаграммы  $Al_2O_3$  - Mg#. Слева: породы интрузивов Качинского и Симферопольского поднятий: 1 – Джидаир, 2 – Курцовский, 3 – Лебединский, 4 – Первомайский. Справа: породы интрузивов Южнобережного поднятия: 5 – Балаклава 6 – Чамны-Бурун, 7 – Аю-Даг, 8 – Партенит

Автором установлена существенная разница состава пироксенов пород Качинского и Симферопольского поднятий (левая часть рис. 10) и пироксенов пород Южнобережного поднятия (правая часть рис. 10). Поиск объяснения этого различия – задача дальнейших исследований.

### **Редкоземельные минералы группы эпидота**

В горных породах комплекса установлен ряд минералов лантанидов: цирконолит-(Ca), цирконолит-(Y), чевкинит-(Ce), перрьерит-(Ce); наиболее распространены, разнообразны и информативны редкоземельные минералы группы эпидота (рис. 3). В биотит-кварцсодержащих габброидах это – ранние Ti ферриалланит-(Ce), Ti и Ti-V алланит-(Ce), поздние – алланит-(Y), REE эпидот, Y эпидот 5 MA (рис. 11, табл. 3); в плагиогранитоидах это ранние Ti-V алланит-(Ce), – алланит-(Ce), поздний – REE эпидот 6 MA (рис. 12, табл. 3). В ходе кристаллизации проявлен отчётливый тренд истощения La и накопления Nd.

Наиболее выразительна практически линейная зависимость между суммарным содержанием титана с ванадием и отношением лантана к неодиму, где максимальные значения обоих параметров характерны для ранних генераций алланита, а минимальные – для позднего REE эпидота.

Алланит-(Ce) в плагиогранитоидах заметно беднее лантаном и богаче неодимом, чем алланит-(Ce) в габброидах первомайско-аюдагского комплекса.

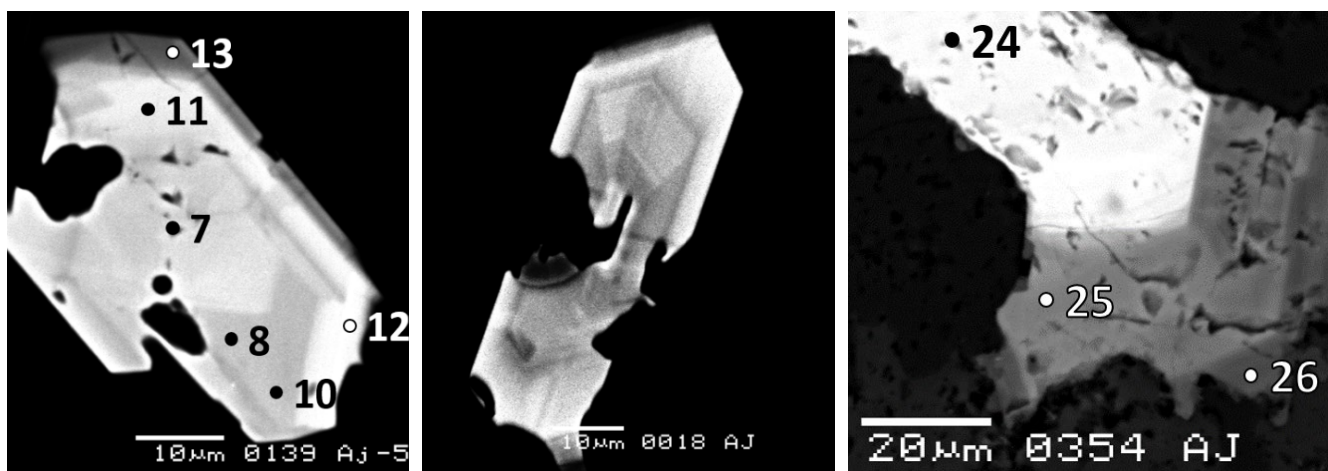


Рисунок 11. Зональные кристаллы редкоземельных минералов группы эпидота 5 МА в биотит-кварцосодержащих габбронорит-диоритах Аю-Дага (левый и в центре) и Партенита (правый). Ti ферриалланит-(Ce) (№ 7), алланит-(Ce) (№ 8, 10-12, 24), алланит-(Y) (№ 13, 25), REE эпидот (№ 26). В центре – осцилляционно-зональный кристалл алланита-(Ce). В отражённых электронах

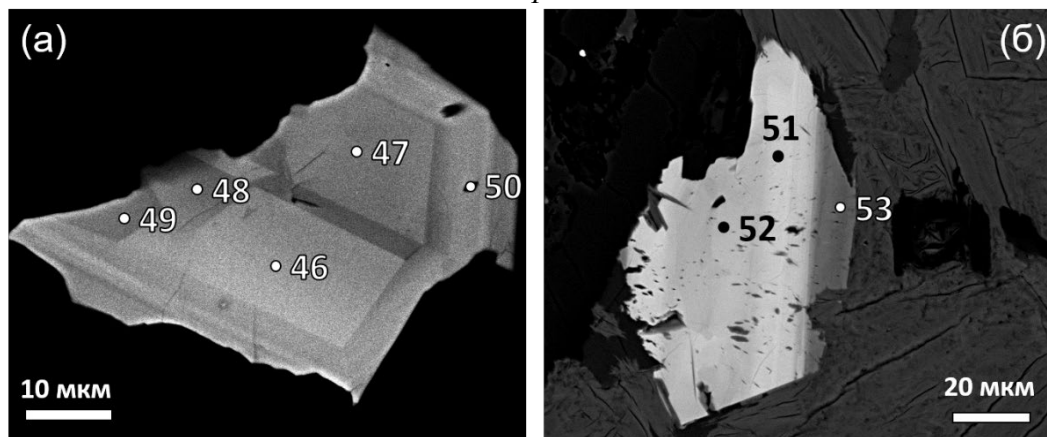


Рисунок 12. Блоково-зональные кристаллы редкоземельных минералов группы эпидота в плагиогранитах Первомайского (Кушнарёвского) интрузива. Ti алланит-(Ce) (№ 46-50, 51), алланит-(Ce) (№ 52), REE эпидот (№ 53). В отраженных электронах

Таблица 3. Химический состав (мас. %) представительных образцов редкоземельных минералов группы эпидота – Ti ферриалланит-(Ce) (№ 1), Ti-V алланит-(Ce) (№ 2), алланит-(Ce) (№3), алланит-(Y) (№ 4), REE-эпидот (№ 5), Y-эпидот (№ 6) биотит-кварцевых габброидов интрузивов Первомайского (№ 1, 5), Чамны-Бурун (№ 2, 3, 6), Партенит (№ 4); Ti-V алланит-(Ce) (№ 7), Ti алланит-(Ce) (№ 8), REE-эпидот (№ 9) плагиогранитоидов Первомайского интрузива

№№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO <sub>2</sub>	29.43	31.47	31.64	34.39	33.59	38.02	29.82	31.49	35.18
TiO <sub>2</sub>	3.81	1.23	0.57	нпо	0.27	нпо	2.58	2.86	0.26
V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.32	3.48	0.61	нпо	нпо	нпо	2.26	0.27	нпо
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.61	13.66	16.31	20.16	19.90	23.37	11.91	13.32	21.74
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.11	1.52	2.97	8.82	9.55	11.52	5.44	4.85	13.89
FeO	10.15	12.60	11.14	4.64	4.70	2.18	9.85	10.92	-
MnO	0.63	нпо	нпо	0.43	0.58	нпо	0.16	0.33	0.77
MgO	1.30	нпо	нпо	0.78	нпо	нпо	1.54	1.39	0.72
CaO	10.45	10.61	11.38	15.79	16.76	21.95	9.65	11.93	20.09
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.44	11.53	9.12	1.49	5.40	1.23	13.07	11.29	3.10
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.12	5.27	4.42	0.49	2.32	нпо	7.31	5.36	2.01
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.19	4.74	4.15	1.15	2.33	нпо	3.96	3.50	1.05
Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.70	1.12	1.02	0.42	0.46	нпо	1.12	1.03	нпо
Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	нпо	0.72	0.77	0,56	0.37	нпо	0.40	0.69	нпо
Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	нпо	нпо	нпо	нпо	0.31	нпо	Нпо	нпо	нпо
Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.35	0.68	0.72	0.74	0.33	нпо	0.45	0.58	нпо
Tb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.47	нпо	нпо	нпо	нпо	нпо	0.45	нпо	нпо
Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.45	0.50	0.71	1.12	0.32	нпо	0.50	нпо	нпо
Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	нпо	нпо	нпо	нпо	нпо	нпо	Нпо	нпо	нпо
Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	нпо	нпо	нпо	0.83	0.33	нпо	Нпо	нпо	нпо
Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.35	нпо	нпо	0.57	нпо	нпо	Нпо	нпо	нпо
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.67	1.38	2.54	6.95	1.12	2.59	0.77	1.16	1.15
Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.09	нпо	нпо	нпо	0.20	нпо	Нпо	нпо	нпо
ThO <sub>2</sub>	0.19	нпо	нпо	нпо	0.63	нпо	Нпо	нпо	нпо
сумма	101.49	100.51	98.07	99.42	99.47	100.86	101.24	100.97	99.96
REEapfu	0.864	0.847	0.717	0.207	0.365	0.036	0.960	0.758	0.185
Y apfu	0.035	0.070	0.128	0.316	0.052	0.109	0.040	0.057	0.050

Примечание: нпо – ниже предела обнаружения

Установлено, что основные хромофоры крымского густо окрашенного алланита – Ti и V в сочетании с Fe.

Наличие алланита, REE эпидота, Y эпидота в ассоциации с биотитом, паргаситом и эденитом – один из критериев отличия островодужных плагиогранитов Крыма (габброидных) от крымских послеостроводужных плагиогранитов (гранитоидных) с монацитом и ксенотимом в ассоциации с фаялитом и феррогортонолитом.

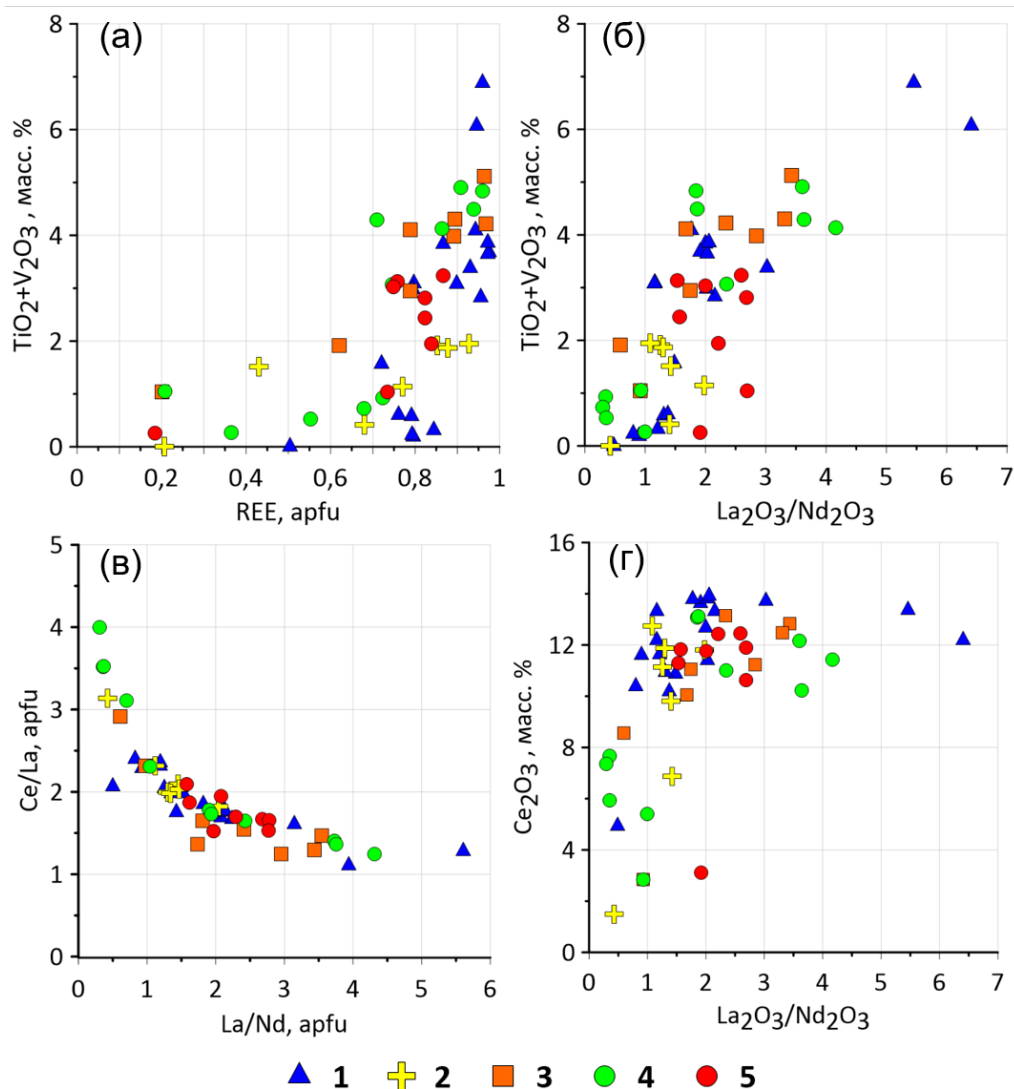


Рисунок 13. Вариации состава редкоземельных минералов группы эпидота Горного Крыма: в биотит-кварцосодержащих габброидах Аю-Дага (1), Партенита (2), Лебединского (3), Кушнарёвского (4); в плагиогранитоидах Кушнарёвского (5)

### **Титаномагнетит и ильменит**

Срастания титаномагнетита и ильменита входят в состав 4 МА и 5 МА. Оценка параметров кристаллизации на диаграмме (Ghiorso, Sack, 1991): ~950-1000 °С и  $\lg f O_2 = QFM + 0.7$  (для 4 МА) и ~850 °С и  $\lg f O_2 = QFM + 1.0$  (для 5 МА). Титаномагнетит при отжиге превратился в субмикронные срастания магнетит-ульвошпинель. Большая часть таких срастаний в дальнейшем при окислительном отжиге была замещена пластинчатыми срастаниями магнетит-ильменит; оценка параметров замещения ~600 °С и  $\lg f O_2 = QFM + 1.6$ .

### **Дайки глубинного происхождения и гидротермальные образования первомайско-аюдагского интрузивного комплекса**

Интрузивы сопровождают дайки глубинного происхождения с закалёнными контактами – двупироксеновые и роговообманково-двупироксеновые долериты,

микрогаббронорит-долериты. Их внедрение завершает магматическую историю базитового первомайско-аюдагского комплекса.

Послеинтрузивные пирит-пирротин-рутил-кварц-кальцит-хлорит-альбитовые гидротермальные метасоматиты установлены в интрузиве Аю-Даг. Эти метасоматиты содержат монацит и ксенотим – продукты замещения магматических редкоземельных минералов группы эпидота, а также хлориты - псевдотюрингит, дафнит, рипидолит. Более поздние и низкотемпературные гидротермалиты – пропициты мало глубинной эпидот-хлоритовой фации.

На основе данных в 4 главе сформулированы первое и второе защищаемые положения.

### ***Глава 5. Продукты эпигенетического регионального низкоградного метаморфизма пород первомайско-аюдагского комплекса***

Эпигенетичный региональный зеленокаменный метаморфизм погружения позднеюрского возраста заметно изменил минеральный и химический состав пород комплекса даже в местах их слабой тектонизации. Магматические породы и окружающие пиритоносные карбонатсодержащие флишевые толщи захвачены этим метаморфизмом совместно. Поэтому, в метаморфизованные магматические породы произошёл интенсивный привнос углекислоты и серы. Количество кальцита и железистого доломита в метагабброидах достигает четверти их объёма, пирита – до 5-7 %. При этом, крайне неоднородно, но кардинально снизилась магнитная восприимчивость габброидов и плагиогранитов.

Метаморфизованные породы 1 стадии метаморфизма в условиях цеолитовой фации состоят из альбита, низко глинозёмистого хлорита, иддингсита (по оливину), лизардита (по иддингситу), кальцита, глинистых минералов, пирита, анальцима, ломонтита и других цеолитов.

Для метаморфизованных пород 2 стадии метаморфизма в условиях пренит-пумпеллиитовой фации характерны псевдоморфозы пренита и актинолита по ломонтиту и анальциму 1 стадии, антигорита по лизардиту 1 стадии. С пумпеллиитом-(Fe<sup>3+</sup>) или пумпеллиитом-(Al) образуют сростания пренит (рис. 14), альбит, хлориты, кварц, кальцит, апофиллит, гиролит, окенит, датолит.

Распространённые 14 Å хлориты метагабброидов 2 стадии представлены преобладающим брунсвитом и подчинённым умеренно железистым рипидолитом; преобладающий хлорит метаплагиолерцолитов – дафнит. Магматогенные хромшпинелиды местами также подверглись изменениям – цинкистый хромтитаномагнетит в сростании с хлоритом и пумпеллитом заместил заметную часть феррихромита в метагабброидах интрузива Донузоран.

Метаморфизованные в условиях цеолитовой фации 3 стадии габброиды и плагиогранитоды содержат прожилки и гнезда разнообразных цеолитов – от раннего ломонтита до позднего анальцима и филлипсита, наиболее поздний – палыгорскит. Внутри магматических тел цеолиты обычно окрашены дисперсными

лепидокрокитом, гематитом, гетитом; около контактов вместо оксидов железа развит пирит.

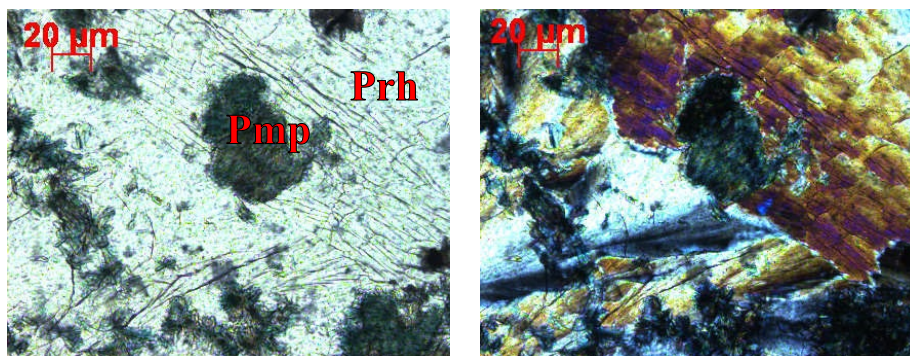


Рисунок 14. Срастание пренима (*Prh*) и пумпеллиита-( $Fe^{3+}$ ) (*Pmp*) в метаморфизованных габброидах Кушнаревского интрузива. В проходящем свете, слева при 1 николе, справа – николи X

На основе данных в 5 главе сформулировано третье защищаемое положение.

### **III. Заключение**

Проведенные исследования позволили создать существенно обновленную модель островодужного габброидного интрузивного комплекса гипабиссальной фации глубинности с ранними кумулятивными плагиоперидотитами и поздними плагиогранитами, предложить принципиально новый механизм внедрения гипабиссальных интрузивов. Схема Н.Л. Боуэна из эволюционирующих породообразующих минералов дополнена закономерно связанными с ними акцессорными минералами хрома, титана, ванадия, циркония, лантанидов, иттрия, тория. Полученные результаты изучения эпигенетического регионального низкоградного метаморфизма важны для уточнения геодинамической эволюции Горного Крыма.

### **Благодарности**

Автор особо благодарен Эрнсту Максвичу Спиридонову за обучение приёмам и методам полевых и камеральных геологических работ и многолетнее научное руководство на всех этапах моих исследований, Алексею Леонидовичу Перчуку за научное руководство диссертацией. Автор признателен Российскому фонду фундаментальных исследований (РФФИ) за финансовую поддержку. Автор благодарен М.Ю. Никитину, С.В. Филимонову, Е.С. Койбагаровой и В.О. Цымбалюку за организацию и проведение полевых работ в Горном Крыму; Н.Н. Коротаевой за высокое качество микронзондовых анализов минералов и фотографий в режиме отраженных электронов; А.А. Арискину, Г.С. Николаеву, Е.В. Путинцевой и Ю.Д. Гриценко за ценные замечания и поддержку, А.Д. Бабанскому и И.Т. Расс (ИГЕМ РАН) за предоставленные литературные источники и аналитические возможности. Автор благодарит сотрудников кафедр минералогии, петрологии и вулканологии за поддержку и помощь в работе над диссертацией.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ  
(статьи в рецензируемых журналах, рекомендованных для  
защиты в диссертационном совете МГУ имени  
М. В. Ломоносова по специальностям и отрасли наук)

1. Фролова Ю.В., Ладыгин В.М., Спиридонов Э.М., **Овсянников Г.Н.** О физико-механических свойствах метавулканитов Горного Крыма // Инженерная геология. 2018. Т. 13. №4. С. 36-51. EDN: YWGWGD (1,24 п. л.). [*Импакт-фактор 0,41 (РИНЦ)*]. Доля участия 0.15.
2. Спиридонов Э.М., Коротаева Н.Н., Кривицкая Н.Н., Ладыгин В.М., **Овсянников Г.Н.**, Путинцева Е.В., Семиколенных Е.С., Фролова Ю.В. Островодужные авгит-битовнит-лабрадоровые дациты Карадага, Крым // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 2019. № 5. С. 53–61. EDN: WPSTWQ (0,6 п. л.). [*Импакт-фактор 0,39 (РИНЦ)*]. Доля участия 0.2.
3. **Овсянников Г.Н.**, Спиридонов Э.М., Филимонов С.В. Плагиоклаз интрузивных пород островодужного первомайско-аюдагского комплекса Горного Крыма: от плагиолерцолитов до плагиогранитов // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 2024. № 2. С. 85–95. EDN: GKBTJF (0,9 п. л.). [*Импакт-фактор 0,39 (РИНЦ)*]. Доля участия 0.7.
4. Спиридонов Э.М., **Овсянников Г.Н.**, Филимонов С.В., Койбагарова Е.С., Коротаева Н.Н. Ti ферриалланит-(Ce), Ti и Ti-V алланит-(Ce), алланит-(Ce), алланит-(Y), REE эпидот в биотитсодержащих кварцевых габброидах и плагиогранитоидах островодужного первомайско-аюдагского комплекса Горного Крыма // Геохимия. 2025. Т. 70. № 8. С. 615–644. EDN: QFNBFLL (1,6 п. л.). [*Импакт-фактор 1.20 (РИНЦ)*]. Доля участия 0.4.
5. Спиридонов Э.М., **Овсянников Г.Н.**, Коротаева Н.Н. Ti-V алланит-(Ce), V алланит-(Ce), алланит(Ce), REE эпидот, Y эпидот в островодужных биотит-кварцевых габброидах интрузива Чамны-Бурун, Горный Крым // Новые данные о минералах. 2025. Т. 59. Вып. 2. С. 37-44. EDN: NKWWZY. (0,5 п. л.). [*Импакт-фактор 0.33 (РИНЦ)*]. Доля участия 0.4.

**Прочие публикации**

6. Спиридонов Э.М., **Овсянников Г.Н.** Псевдоморфозы псевдобрукита и псевдорутила, титанита, рутила по армоколиту, титаномagnetиту и ильмениту в низкоградно метаморфизованных интрузивных породах Горного Крыма // Новые данные о минералах. 2024. Т. 58. № 2. С. 36–45. EDN: DUVPJU.