

На правах рукописи



САДЫХОВ Эмин Али оглы

**МЕЗОЗОЙСКИЕ ПЛУТОНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ
ЛОК-ГАРАБАГСКОЙ ЗОНЫ МАЛОГО КАВКАЗА:
ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА,
ВОЗРАСТ И МАГМАТИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ**

Специальность 25.00.04 – Петрология, вулканология

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Санкт-Петербург
2019

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского»

- Научный руководитель:** доктор геолого-минералогических наук
Шарпенюк Людмила Николаевна
- Научный консультант:** доктор геолого-минералогических наук
Великославинский Сергей Дмитриевич
- Официальные оппоненты:** доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Геологический институт» РАН, Москва
Лучицкая Марина Валентиновна
кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией геохимии изотопов, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН, Иркутск
Дриль Сергей Игоревич
- Ведущая организация** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки, Институт геологии и природопользования Дальневосточного отделения Российской академии наук, Благовещенск

Защита диссертации состоится 10 апреля 2019 г. в 14 ч. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 002.047.01 при Институте геологии и геохронологии докембрия РАН по адресу: 199034, г. Санкт-Петербург, наб. Макарова, д. 2

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИГГД РАН и на сайте www.ipgg.ru

Отзывы направлять ученому секретарю диссертационного совета по адресу: 199034, г. Санкт-Петербург, наб. Макарова, д. 2, ИГГД РАН. Факс (812)328-48-01. Электронная почта: dis.sovet@ipgg.ru

Автореферат разослан «13» февраля 2019 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,

Кандидат геолого-минералогических наук



Ю. В. Плоткина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В Азербайджанском сегменте Лок-Гарабагской (Сомхето-Карабахской) зоны Малого Кавказа развиты многочисленные магматические образования, формировавшиеся на протяжении длительного периода времени (около 40 млн лет) в условиях субдукционной обстановки [Adamia et al 2011; Sharkov, Lebedev et al 2015; Forte et al., 2010; Cowgill et al., 2016; Rolland et al., 2012, 2017]. В связи с этим рассматриваемые в диссертации магматические комплексы являются уникальными объектами, позволяющими выявить закономерности и эволюцию субдукционного интрузивного магматизма. Полученные результаты позволяют обоснованно подойти к систематике изученных интрузивных образований и правомерности их объединения в геологические комплексы с учетом геохронологических данных, геохимических особенностей пород и их источников. Это позволяет решить ряд дискуссионных вопросов, связанных с их выделением.

Цели и задачи исследования. Главными целями работы является установление особенностей условий формирования пород мезозойских комплексов, а также выявления закономерностей и характера эволюции мезозойского интрузивного магматизма. Достижение поставленных целей потребовало комплексного подхода к решению методически взаимосвязанных задач, главными из которых являются:

1. выявление геохимических особенностей всех типов пород мезозойских плутонических комплексов;
2. определение возраста становления массивов, относящихся к трем рассматриваемым комплексам – плагиогранитовому, габбро-тоналитовому и габбро-гранитовому;
3. определение геодинамической обстановки их формирования и выявление источников магматических пород рассматриваемых плутонических комплексов.

Фактический материал

Работа выполнена в отделе петрологии Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А. П. Карпинского. В основу диссертационной работы положен 1) фактический материал, собранный автором при проведении полевых работ (2011–2016 гг.) на территории Азербайджанского сегмента Лок-Гарабагской островной дуги в составе Малокавказской геологоразведочной группы Министерства природных ресурсов Азербайджана под руководством начальника партии Фахрадина Абдуллаева и академика Национальной академии наук

Азербайджана Арифа Джафаровича Исмаила-заде (всего пять полевых сезонов); 2) результаты, полученные при лабораторно-аналитических исследованиях собранного каменного материала, а также 3) сведения из литературных источников (Мустафаев Г. В., Мустафаев М. А., Кашкай М. А., Исмаил-заде А. Д., Шихалибейли Э. Ш. и др.).

Для решения поставленных задач использованы: 1) результаты полевых наблюдений (геологические соотношения разных типов пород, детальное описание керна скважин, составленные геологические разрезы и т. п.); 2) результаты изучения методами оптической микроскопии более 120 прозрачно-полированных шлифов; 3) аналитические данные: а) более 110 химических анализов породообразующих минералов, полученных микрозондовым методом в научном ресурсном центре СПбГУ «Геомодель», б) более 100 проб результатов химического анализа (XRF – петрогенные оксиды, ICP MS и AA – рассеянные и редкоземельные элементы), проведенного в Центральной аналитической лаборатории ВСЕГЕИ; в) девять определений изотопного состава Nd и Sr, выполненных в Геологическом институте Кольского научного центра РАН и г) 20 оценок возраста (U-Th-Pb, циркон, SIMS), полученных с помощью вторично-ионного масс-спектрометра SHRIMP II в ЦИИ ВСЕГЕИ. Аналитические данные для всех трех исследуемых комплексов обрабатывались по одному и тому же алгоритму с использованием соответствующих решаемым задачам опубликованных методов. Кроме того, применялись методы статистического, в том числе, и многомерного анализа.

Защищаемые положения

1. Породы плагиогранитового комплекса сформировались во временном интервале 166 ± 1 – 176 ± 6 млн лет. Становление интрузивов габбро-тоналитового и габбро-гранитового комплексов произошло в интервалах 144 ± 1 – 159 ± 1 и 138 ± 2 – 143 ± 2 млн лет соответственно.

2. Геохимическая эволюция мезозойского интрузивного магматизма Лок-Гарабагской зоны проявлена в последовательной смене низкощелочных низкокалийевых интрузивных пород через нормальные к высококалийевым умереннощелочным и в увеличении содержаний литофильных, высокозарядных и редкоземельных элементов. Рассматриваемые магматические комплексы геохимически индивидуальны, что отражает дискретный характер эволюции магматизма.

3. Родоначальные расплавы магматических пород мезозойских комплексов выплавлялись из мантийного источника и контамини-

ровались коровым материалом докембрийских и мезозойских пород в условиях островной дуги.

Научная новизна

1. Впервые получены соответствующие современным требованиям оценки возраста (U-Th-Pb по циркону, SIMS) становления массивов Гидамбир, Атабек-Славянка (плагиогранитовый комплекс), Габахтепе, Гедабек, Барум (габбро-тоналитовый комплекс) и Дашкесан (габбро-гранитовый комплекс).

2. Впервые для пород рассматриваемых массивов получены изотопно-геохимические (Sm-Nd и Rb-Sr) характеристики, что в совокупности с геохимическими данными позволило подойти к оценке изменения состава источников пород рассматриваемых комплексов во времени.

3. На основе обобщения полученных геохимических, изотопно-геохимических и геохронологических данных предложена модель становления массивов исследованных комплексов.

4. На основе геохимического моделирования подтверждены представления о «гибридной» природе магматических пород Дашкесана.

Практическая значимость

Полученные в ходе проведенных исследований результаты могут быть использованы при проведении геологосъемочных и картосоставительских работ, в частности для уточнения легенд к геологическим картам. Также следует отметить, что рассмотренные в диссертации мезозойские интрузии являются источником рудных полезных ископаемых и перспективны на выявление новых коренных месторождений золота и полиметаллических руд. В связи с этим полученные результаты могут быть использованы при металлогеническом анализе региона.

Объем и структура работы

Диссертационная работа общим объемом 188 страниц состоит из оглавления, введения, шести глав, заключения, списка литературы из 136 наименований и приложения. Текст сопровождается 18 таблицами и 49 рисунками. Во введении обосновывается актуальность исследований, отмечается новизна полученных результатов, указываются цель и задачи исследований, приводятся данные о фактическом материале и структуре работы и формулируются защищаемые положения. В первой главе приводится краткий обзор аналитических методик. Вторая глава посвящена геологическому строению Азербайджанского сегмента Лок-Гарабагской тектонической зоны (тектоника, стратиграфия, магматизм). В главах 3–5 рассмотрены петрографические характеристики, геохимические характеристики, результаты геохронологических исследований, геодинамическая

обстановка формирования и источники родоначального расплава пород плагиогранитового, габбро-тоналитового и габбро-гранитового комплексов соответственно. Глава 6 посвящена сравнительному анализу характеристик пород всех рассмотренных комплексов и обобщению полученных данных. Защищаемые положения обосновываются в главах 3–6.

Публикации и апробация результатов работы

По вопросам, затронутым в научной диссертации, написано девять работ, из них три – в журналах, включенных в перечень научных изданий ВАК. Основные положения диссертационной работы представлялись на Конференции молодых ученых (Санкт-Петербургский государственный университет, 2014 г.), Международной конференции молодых ученых им. Карпинского (ВСЕГЕИ, 2015; 2017 гг.), 35-м Международном геологическом конгрессе (ЮАР, 2016 г.), XXVII Всероссийской молодежной конференции «Строение литосферы и геодинамика», посвященной 115-летию со дня рождения профессора В. Г. Ткачук (Иркутск, 2017).

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность своим научным руководителям д-ру геол.-минерал. наук С. Д. Великославинскому и д-ру геол.-минерал. наук Л. Н. Шарпенку за научное руководство, рекомендации и ценные советы на всех этапах подготовки диссертации. Отдельную признательность автор выражает канд. геол.-минерал. наук В. В. Шатову и Н. В. Шатовой за неоценимую помощь при проведении аналитических исследований и всестороннюю поддержку, начальнику геофизической партии при Министерстве экологии и природных ресурсов Азербайджана Фахрадину Абдуллаеву и академику Национальной академии наук Азербайджана (НАНА, Баку) Арифу Джафаровичу Исмаил-заде за организацию полевых работ и помощь в отборе каменного материала. Также автор выражает глубокую благодарность сотрудникам отдела аспирантуры ФГБУ «ВСЕГЕИ» кандидатам геол.-минерал. наук заведующей отдела Л. И. Лукьяновой и Н. В. Андреевой. Автор признателен за консультации и конструктивную критику д-рам геол.-минерал. наук член-корр. РАН А. В. Самсонову (ИГЕМ РАН, Москва), член-корр. НАНА Т. Н. Кенгерли, Д. А. Гусенову (GIA, Баку), Б. А. Блюману (ВСЕГЕИ, Санкт-Петербург), Г. С. Биске, А. К. Худолею (СПбГУ, Санкт-Петербург), проф. Р. Мортису (Университет Женевы), А. Б. Вревскому, А. Б. Котову, А. М. Ларину (ИГГД РАН, Санкт-Петербург), кандидатам геол.-минерал. наук В. В. Иванникову (СПбГУ, Санкт-Петербург), П. Я. Азимову, Ю. В. Плоткиной (ИГГД РАН, Санкт-Петербург), И. С. Патине (ГИН РАН, Москва), А. А. Велиеву (AIMS, Баку), а также коллегам по ФГБУ «ВСЕГЕИ» кандидатам геол.-минерал. наук

А. С. Застрожнову, М. В. Наумову, К. И. Лохову, С. А. Сергееву и заведующему сектором изотопных исследований А. В. Антонову за ценные советы и проявленный интерес.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АЗЕРБАЙДЖАНСКОГО СЕКМЕНТА ЛОК-ГАРАБАГСКОЙ ТЕКТЕНИЧЕСКОЙ ЗОНЫ

Рассматриваемые в настоящей работе интрузивы развиты в Азербайджанском сегменте Лок-Гарабагской (Сомхето-Карабахской) тектонической зоны (горно-складчатая система Малого Кавказа). Лок-Гарабагская зона в целом является одним из крупных орогенов Альпийско-Гималайского пояса, сформированного вдоль южной континентальной окраины Евразии (рис. 1, *а*) и прослеживаемого на расстояние более 1000 км. На территории Азербайджана представлен достаточно крупный сегмент этой зоны длиной более 290 км, простирающийся вдоль южного борта Куринской межгорной впадины. Согласно данным многих исследователей [Adamia et al 2011; Sharkov, Lebedev et al 2015; Forte et al., 2010; Cowgill et al., 2016; Rolland et al., 2017] Лок-Гарабагская (Сомхето-Карабахская), тектоническая зона в настоящее время рассматривается как мезозойская палеоостровная дуга, возникшая в результате субдукции океанической коры Неотетиса, разделявшего Гондвану и Лавразию. Субдукция Неотетиса началась в ранней юре и полностью завершилась коллизией континентального Таврид-Анатолидского блока – фрагмента Гондваны [Knipper and Khain, 1980] и Евразийской плиты в интервале поздний мел – ранний палеоцен на востоке [Hässig et al., 2015; Rolland et al., 2012, 2017; Sosson et al., 2010] и в интервале палеоцен–эоцен на западе [Okay and Nikishin, 2015].

На территории Азербайджана в строении Лок-Гарабагской зоны принимают участие докембрийско-эопалеозойские комплексы кристаллического фундамента и собственно островодужный альпийский структурно-вещественный комплекс общей мощностью более 6 км, представленный сланцевой, базальтово-риолитовой и известняковой (рифовой) – пирокластической формациями юры и меловыми терригенно-мергельной и вулканогенной формациями.

Наиболее древними из рассматриваемых интрузий являются среднеюрские плагиогранитовые — Атабекский – 80 км², Гиланбирский – 16 км² и другие мелкие массивы [Геология Азербайджана, т. III, 2005], выделяемые в объеме байосского плагиогранитового комплекса (рис. 1, *б*). Поро-

ды размещаются среди байосских эффузивов, представленных андезитобазальт-плагиориолитовой серией, конечные дифференциаты которой рассматриваются как комагматы интрузивных пород плагиогранитового комплекса [Мустафаев, 1977, 1982, 1988]. Массивы плагиогранитового комплекса сложены средне-крупнозернистыми порфиридовидными плагиогранитами и средне-мелкозернистыми лейкоплагиогранитами [Мустафаев, 1977; Абдуллаев и др., 1988].

В состав габбро-тоналитового комплекса объединены массивы Гедабек площадью 40 км², Габахтепе – 32 км², Баян – 4 км², Барум – 20 км² и Ново-Гореловский – 7 км² (рис. 1, б). Массивы этого комплекса обычно имеют штокообразную форму, вытянутую в субширотном направлении согласно осям складок вмещающих пород. Вмещающими породами являются среднеюрские эффузивно-пирокластические образования, а также верхнеюрские терригенно-осадочные породы, которые на контактах с интрузиями часто скарнированы или ороговикованы [Геология Азербайджана, т. III, 2005]. Породы ранних фаз в двухфазных массивах (Гедабек) представлены габбро и габбродиоритами, а поздних – диоритами, кварцевыми диоритами, гранодиоритами и тоналитами [Керимов, 1963; Мустафаев, 1977].

Габбро-гранитовый комплекс представлен Дашкесанским массивом (рис. 1, б) площадью 38 км², локализованный в пределах одноименного Дашкесанского синклинория, имеющего юго-восточное простирание и сложенного верхнеюрскими отложениями, разрез которых начинается глинами келловея, наращивается известняками оксфорда и венчается туфогенными образованиями киммериджа. Интрузивные породы Дашкесана прорывают вмещающие нижнемеловые породы, представленные вулканогенно-осадочными (туфопесчанники) и вулканогенными (андезиты, андезитобазальты, туфы) породами, и оказывают на них контактовое метаморфическое воздействие, образуя обширные поля скарнов на контактах с оксфордскими известняками [Марфуния, 1955; Кашкай, 1965].

Массив Дашкесан многофазный. Первая фаза это – габброиды (роогобманковые габбро, габбронориты, нориты, кварцевые габбро, монцогаббро, габбродиориты), составляющие около 20 % объема массива. Вторая фаза – монцодиориты, тоналиты, кварцевые диориты, диориты, граносиениты, гранодиориты и граниты. Наиболее широко распространены гранодиориты, занимая около 70 % объема массива. Тоналиты и кварцевые диориты слагают краевые фации. Третья фаза представлена жильными гранитами и аплитами и составляет менее 10 % объема массива. Гранит-аплиты и аляскиты этой фазы образуют маломощные

(от 2–3 см до 1 м) аплитовидные жилы, прорывающие как гранитоиды второй фазы, так и габброиды первой фазы [Кашкай, 1965]. Дайки, пересекающие массив, обычно выделяют в составе дайкового комплекса. Породы каждой последующей фазы прорывают предыдущие и содержат их ксенолиты. Породы всех трех фаз в целом образуют гомодромный ряд [Кашкай, 1965; Шипулин, 1968]. Часто отмечаются также признаки магматического смешения (миксинг/миглинг), указывающие на формирование массива в результате кристаллизации двух расплавов [Кашкай, 1965].

Породы всех рассматриваемых в работе массивов испытали складчатые деформации совместно с вмещающими породами, что предполагает формирование массивов на доколлизийной стадии формирования Лок-Гарабагской островодужной системы.

ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

1. Породы плагиогранитового комплекса сформировались во временном интервале 166 ± 1 – 176 ± 6 млн лет. Становление интрузивов габбро-тоналитового и габбро-гранитового комплексов произошло в интервалах 144 ± 1 – 159 ± 1 и 138 ± 2 – 143 ± 2 млн лет соответственно.

Существующие представления о последовательности и возрасте становления массивов плагиогранитового, габбро-тоналитового и габбро-гранитового комплексов Лок-Гарабагской дуги существенно уточнены результатами U-Th-Pb геохронологических исследований циркона (SIMS). Геохронологические данные были получены для циркона из 20 представительных проб (таблица), диаграммы с конкордиями представительных образцов – рис. 2.

Возраст формирования самого древнего из исследуемых комплексов (плагиогранитового) определяется интервалом 166 ± 1 – 176 ± 6 млн лет. Циркон из плагиогранитов первой фазы представлен мелкими (30–150 мкм) кристаллами и их обломками; во многих сохраняются следы магматической зональности. Для циркона характерны высокие содержания урана и тория $U = 510$ – 2570 г/т и $Th = 480$ – 2820 г/т. Циркон из лейкоплагиогранитов (вторая фаза) представлен более крупными (100–250 мкм) идиоморфными кристаллами с отчетливой магматической зональностью и значительно более низким содержанием $U = 80$ – 410 г/т и $Th = 30$ – 310 г/т.

Следующий этап интрузивного магматизма (формирование массивов габбро-тоналитового комплекса) соответствует временному интервалу

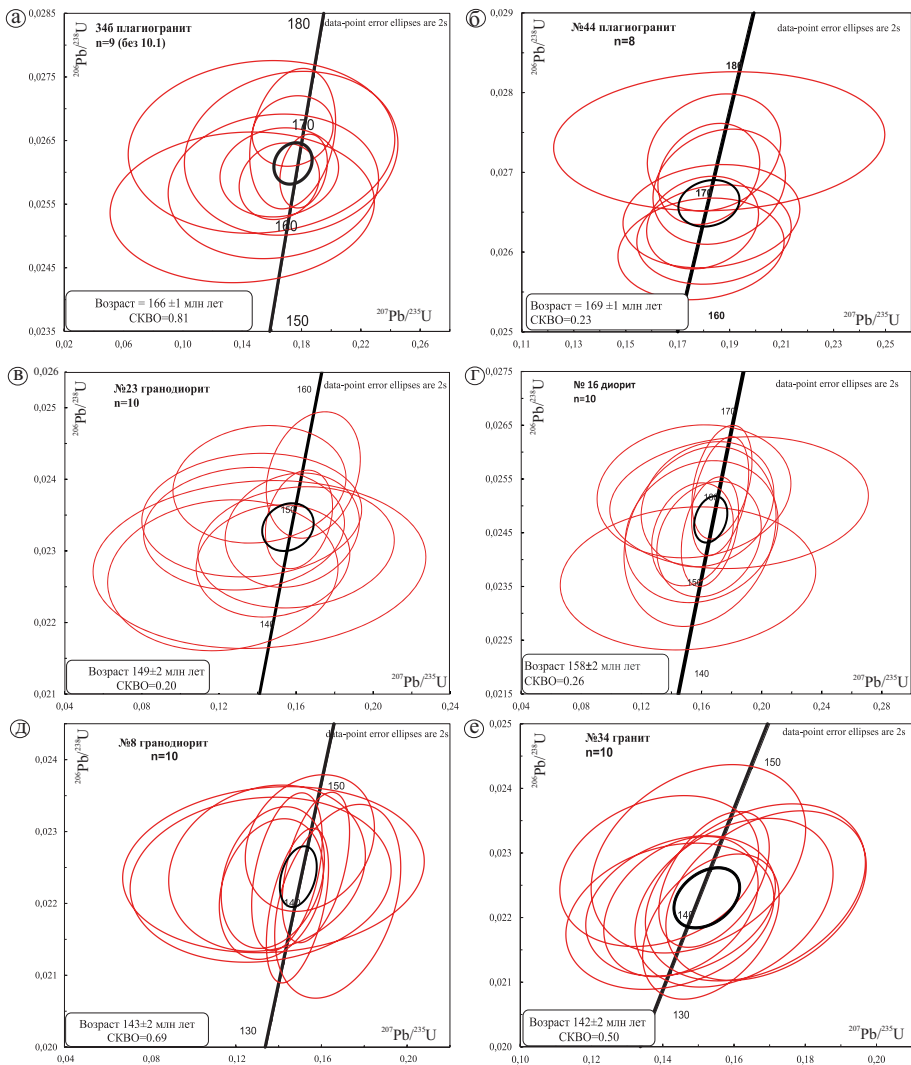


Рисунок 2. Диаграммы с конкордией для циркона представительных образцов интрузивных пород Лок-Гарабагской зоны:

а, б –плагиоганитовый комплекс; в, г габбро-тоналитовый комплекс; д, е – габбро-гранитовый комплекс

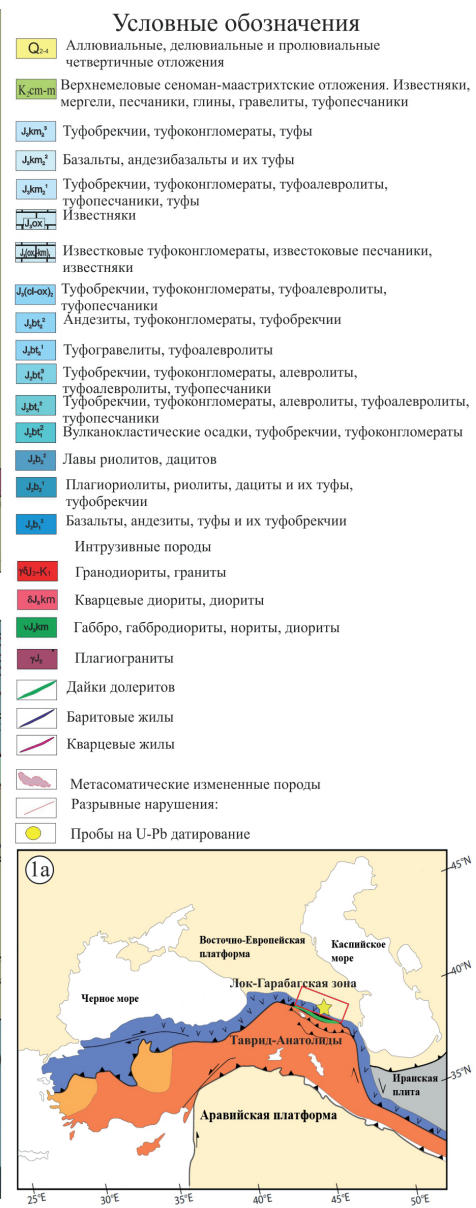
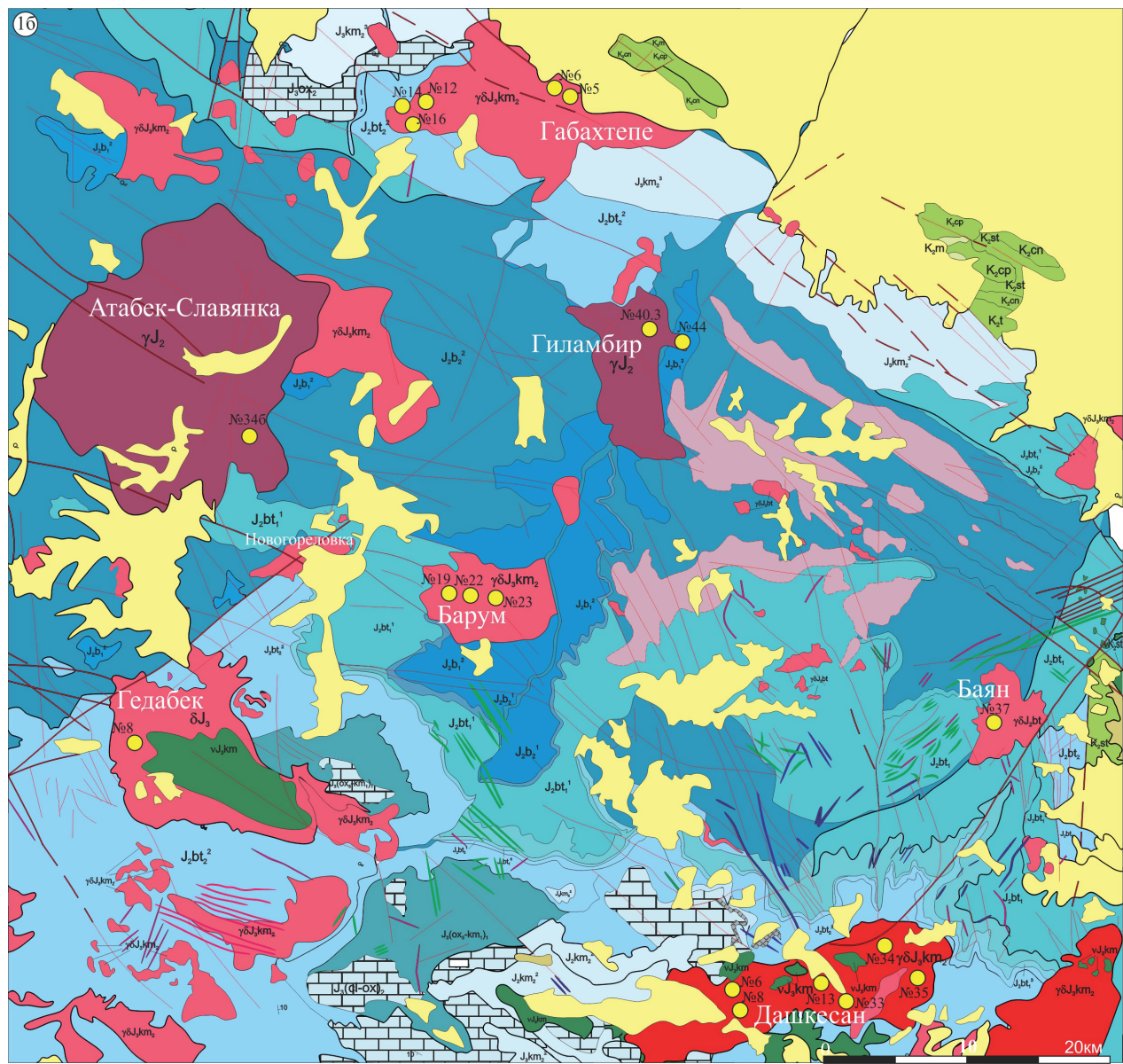


Рисунок 1а. Тектоническая схема Черноморско-Каспийского региона с небольшими изменениями [Sosson et al., 2010]. Э. А. Садыхов
 Рисунок 16. Схематическая геологическая карта района работ.

Таблица

Возрастные данные для магматических пород мезозойских интрузивных комплексов Лок-Гарабагской зоны Малого Кавказа

Номер п/п	Образец	Порода	Массив	Возраст кристаллизации, млн лет	Средние содержания U и Th (г/т) и среднее значение U и Th
ГАББРО-ГРАНИТОВЫЙ КОМПЛЕКС					
1	6	Гранодиорит	Дашкесан	143 ± 2 конкордантный	U = 187 г/т; Th/U = 0,9
2	8	Гранодиорит	Дашкесан	143 ± 2 конкордантный	U = 495 г/т; Th/U = 0,7
3	13	Гранодиорит	Дашкесан	148 ± 2 конкордантный 2300 ± 30 конкордантный (<i>ксеногенное зерно</i>)	U = 1695 г/т; Th/U = 1,0 <i>U = 69 г/т; Th/U = 0,7</i>
4	33/	Монцодиорит	Дашкесан	138 ± 2 конкордантный	U = 276 г/т; Th/U = 1,0
5	34/	Гранит	Дашкесан	142 ± 2 конкордантный	U = 160 г/т; Th/U = 0,9
6	35/	Гранит	Дашкесан	142 ± 2 конкордантный	U = 212 г/т; Th/U = 1,1
ГАББРО-ТОНАЛИТОВЫЙ КОМПЛЕКС					
7	N-ge8	Кварцевый диорит	Гедабек	144 ± 1 конкордантный	U = 250; Th/U = 0,9
8	N-5	Гранит-аплит	Габахтепе	183 ± 4 конкордантный	U = 8258; Th/U = 0,29
9	N-11	Габбродиорит	Габахтепе	173 ± 2 конкордантный	U = 2309 и Th; Th/U = 2,17
10	N-12	Габбродиорит	Габахтепе	167 ± 1 конкордантный	U = 1823 и Th; Th/U = 2,35
11	N-6	Кварцевый диорит	габахтепе	159 ± 1 конкордантный	U = 418; Th/U = 0,89
12	N-14	Диорит	Габахтепе	145 ± 2 конкордантный	U = 219; Th/U = 0,88
13	N-16	Диорит	Габахтепе	158 ± 2 конкордантный	U = 216; Th/U = 0,69
14	N-19	Гранодиорит	Барум	151 ± 1 конкордантный	U = 157; Th/U = 0,54
15	N-22	Гранодиорит	Барум	149 ± 2 конкордантный	U = 155; Th/U = 0,56
16	N-23	Гранодиорит	Барум	149 ± 2 конкордантный	U = 178; Th/U = 0,59
17	N-37	Тоналит	Баян	210 ± 2 конкордантный 1 зерно	U = 918; Th/U = 0,63
ПЛАГИОГРАНИТОВЫЙ КОМПЛЕКС					
18	N-40,3	Плагиигранит	Гиламбир	176 ± 6 средневзвешенный	U = 991; Th/U = 1,03
19	N-346	Лейкоплагиигранит	Атабек-Славянка	166 ± 1 конкордантный	U = 261; Th/U = 0,55
20	N-44	Плагиигранит	Гиламбир	169 ± 1 конкордантный 887 ± 8 конкордантный (<i>ксеногенное зерно</i>)	U = 1058; Th/U = 2,03 <i>U = 431; Th/U = 0,94</i>

Примечание, Жирным шрифтом отмечены образцы, отбракованные за счет проявления матричного эффекта,

144 ± 1 – 159 ± 1 млн лет. Циркон из гранодиоритов представлен крупными (100–250 мкм) идиоморфными длиннопризматическими кристаллами с хорошо развитыми гранями призмы и дипирамиды с отчетливой магматической зональностью, характеризуются низкими содержаниями U (80–260 г/т) и Th (30–200 г/т). Циркон из диоритов представлен мелкими (30–100 мкм) менее идиоморфными короткопризматическими, реже округлыми кристаллами. Для него характерны в целом низкие содержания U (в среднем 280 г/т) и Th (в среднем 240 г/т). Циркон из трех образцов (№ 5 – аплитовая дайка, № 11 – габбродиорит, № 12 – диорит) характеризуется аномально высокими содержаниями U (1800–8300 ppm), а образец № 37 представлен только двумя зернами с аномально высокими содержаниями свинца $^{206}\text{Pb} = 13$ –28 %. В связи с чем полученные оценки возраста по этим образцам были отбракованы.

Формирование пород массива Дашкесан (габбро-гранитовый комплекс) оценивается интервалом 138 ± 2 – 143 ± 2 млн лет. Циркон из гранодиоритов и гранитов представлен идиоморфными коротко- и длиннопризматическими кристаллами размером 50–150 мкм с хорошей магматической зональностью. Для него характерны низкие содержания U (70–400 г/т) и Th (40–650 г/т), что чуть выше, чем у циркона из пород габбро-тоналитового комплекса. В режиме катодolumинисценции зерна циркона имеют слабое свечение; серые, темные до черных с яркими участками и каймами обрастания, со следами тонкой зональности, иногда в зернах отмечается секториальная зональность. Оценка возраста для циркона из пробы № 13 – 148 ± 2 млн лет. Принимая во внимание, что этот циркон характеризуется максимальными содержаниями U и Th (в среднем в 4–5 раз больше, чем в других исследованных пробах: $U = 485$ – 3574 г/т, $Th = 453$ – 5128 г/т), можно полагать, что оценка возраста завышена за счет матричного эффекта [Williams, Hergt, 2000].

Кроме того, обнаружены два захваченных зерна древнего циркона (проба № 44 – плагигранит (44.6.1) с возрастом 887 ± 8 млн лет и проба № 13 – гранодиорит (13_4.1) с возрастом 2302 ± 32 млн лет). Овальное зерно (44.6.1) в режиме катодolumинисценции имеет светлую каемку и черный центр с включениями, характеризуется ярким свечением краев. Зерно 13_14.1 имеет более крупный размер, удлинненную форму, следы зональности, наличие включений в центре, темную каемку. Для этих захваченных зерен отмечаются низкие содержания урана и тория. Зерно 13_4.1 характеризуется крайне низкими содержаниями урана и тория ($U = 69$ г/т и $Th = 45$ г/т). В зерне 44.6.1 – они несколько выше: $U = 434$ г/т, $Th = 393$ г/т. Зерна циркона с протерозойским возрастом следует рассма-

тривать как ксеногенные, захваченные скорее всего из пород метаморфического фундамента.

Полученные для пород плагиогранитового комплекса геохронологические данные в совокупности с данными о геологической истории формирования и развития Лок-Гарабагской островной дуги и представлении о комагматичности пород плагиогранитового комплекса и вмещающих байосских эффузивов, позволяют утверждать, что интрузии плагиогранитового комплекса сформированы на начальной стадии развития Лок-Гарабагской островной дуги. Оценки возраста становления интрузий габбро-тоналитового и габбро-гранитового комплексов и геохимические характеристики входящих в состав комплексов пород позволяют предполагать их последовательное формирование на зрелой стадии развития Лок-Гарабагской островной дуги.

2. Геохимическая эволюция мезозойского интрузивного магматизма Лок-Гарабагской зоны проявлена в последовательной смене низкощелочных низкокалийевых интрузивных пород через нормальные к высококалийевым умереннощелочным и в увеличении содержаний литофильных, высокозарядных и редкоземельных элементов. Рассматриваемые магматические комплексы геохимически индивидуальны, что отражает дискретный характер эволюции магматизма.

Во временной последовательности формирования мезозойских интрузий от плагиогранитового комплекса к габбро-гранитовому прослеживается усложнение геологического строения массивов: увеличение количества магматических фаз, количества слагающих эти массивы типов пород, а также разнообразия их минерального состава. Эти тенденции отражаются и на геохимических особенностях пород рассматриваемых комплексов.

Породы плагиогранитового комплекса на классификационной диаграмме $\text{SiO}_2-(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ соответствуют низкощелочным гранитам, в отличие от пород габбро-тоналитового и габбро-гранитового комплексов, которые относятся к габбро, габбродиоритам, диоритам, гранодиоритам и гранитам соответственно нормальной и умеренно-щелочной серий. По соотношению K_2O и SiO_2 породы плагиогранитового комплекса отвечают магматическим породам только низкокалийевой (толеитовой) серии, тогда как составы пород габбро-гранитового комплекса варьируют от пород низкокалийевой до высококалийевой известково-щелочной серии. Породы габбро-тоналитового комплекса относятся к породам известково-щелочной серии, занимая промежуточное положение между породами двух крайних комплексов. При этом следует отметить, что поле со-

ставов гранитов плагиигранитового комплекса не пересекается с полями состава пород габбро-тоналитового и габбро-гранитового комплексов в координатах $\text{SiO}_2\text{--}(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$, $\text{SiO}_2\text{--K}_2\text{O}$, а также $\text{SiO}_2\text{--Fe}_2\text{O}_3$, $\text{SiO}_2\text{--MgO}$ и $\text{SiO}_2\text{--CaO}$. Фигуративные точки гранитов плагиигранитового комплекса образуют обособленные тренды, смещенные относительно трендов пород габбро-тоналитового и габбро-гранитового комплексов в сторону меньших значений K_2O и больших значений Fe_2O_3 , MgO и CaO . Это обусловлено не только различиями в содержаниях этих элементов, но и более высоким содержанием SiO_2 в гранитах плагиигранитового комплекса. Габброиды габбро-тоналитового отличаются от габброидов габбро-гранитового комплекса более низкими содержаниями TiO_2 и CaO . Такие же различия характерны и для пород среднего состава.

Закономерности поведения петрогенных оксидов в породах каждого из рассмотренных комплексов аналогичны. Так, с повышением содержания SiO_2 закономерно уменьшаются содержания Al_2O_3 , MgO , $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{общ.}}$, CaO , TiO_2 , повышаются содержания K_2O и суммы щелочей, что в целом соответствует тренду фракционирования темноцветных минералов и плагииоклаза и свидетельствует о проявлении процессов кристаллизационной дифференциации. Однако для пород габбро-гранитового комплекса эти закономерности не столь отчетливы, что согласуется с представлениями о формировании массива Дашкесан в результате кристаллизации двух расплавов.

Закономерности, проявленные на диаграммах Харкера, согласуются и с поведением малых элементов в породах габбро-тоналитового и габбро-гранитового комплексов. В частности, с увеличением SiO_2 отмечается повышение содержаний Ba , Rb , U , Ce , Zr , Hf , K , La , а также уменьшение содержаний Sr , Co , V , Cr , Ni , что указывает на существенную роль кристаллизационной дифференциации в становлении рассматриваемых комплексов, соответствующих известково-щелочной серии [Rollinson, 1993; Gill, 2010; Wilson, 1989]. В породах плагиигранитового комплекса, как и в случае с петрогенными оксидами, наблюдаются отклонения в сторону толеитовой серии. Так, с повышением уровня SiO_2 повышаются содержания V , Cr . При этом содержания U , Th , Pb , Rb , Ni примерно на одном уровне или имеют слабоположительную связь.

Характер распределения редкоземельных и микроэлементов, нормированных к примитивной мантии (рис. 3), для пород всех комплексов примерно одинаков и согласуется как по конфигурации спектров, так и по содержанию химических элементов с их распределением в магматических породах, формирующихся в условиях островодужной системы

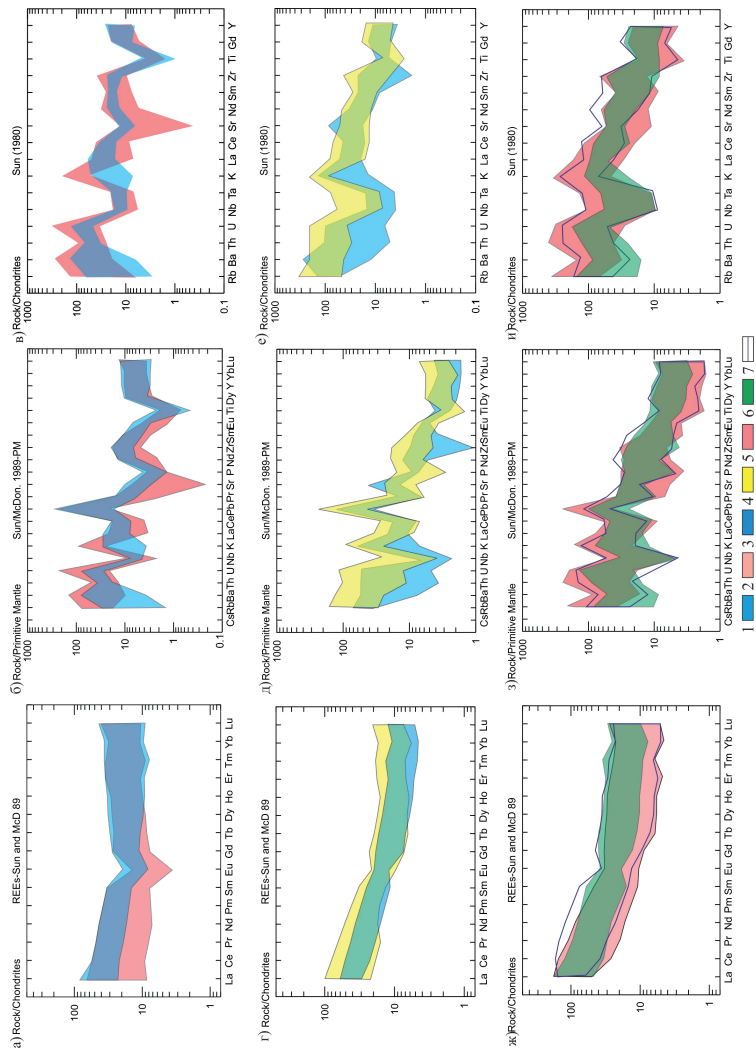


Рисунок 3. Распределение редкоземельных и микроэлементов, нормированных на:

а – хондрит [Sun and McDonough, 1989], примитивную мантию [Sun and McDonough, 1989] и хондрит [Sun 1980]; комплексы: а-в – плагиогранитовый (n = 46); г-е – габбро-тоналитовый (n = 19); ж-и – габбро-гранитовый (n = 31); поля составов: 1 – плагиограниты; 2 – лейкоклагитограниты; 3 – габбродиориты; 4 – кварцевые диориты и гранодиориты; 5 – гранодиориты и граниты; 6 – габбро; 7 – диориты, кварцевые диориты.

(наличие отрицательных Ta-Nb-, Eu- и Ti-аномалий, Pb-максимум). Характер распределения РЗЭ также примерно одинаков для магматических пород рассматриваемых комплексов (рис. 3), за исключением гранитов плагитогранитового комплекса, в которых в отличие от пород других комплексов, отношение $(\text{Gd/Yb})_n < 1$. При этом граниты плагитогранитового комплекса отличаются от гранитоидов габбро-тоналитового комплекса значительно меньшими содержаниями Rb, Y, Nb, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Ta, Th и большими содержаниями ТРЗЭ. Габброиды габбро-тоналитового комплекса по сравнению с габброидами габбро-гранитового комплекса характеризуются меньшими содержаниями V, Zr, Nb, всех РЗЭ, Hf, Ta, Th, U и большим содержанием Co. В гранитоидах габбро-гранитового комплекса по сравнению с гранитоидами габбро-тоналитового комплекса отмечаются более высокие содержания Rb, Zr, Nb, Sm, Eu, Hf, Ta, Pb, Th и U.

Наиболее хорошо геохимическая индивидуальность пород рассматриваемых комплексов иллюстрируется с помощью методов многомерной статистики и, в частности, дискриминантного анализа. Так, на (рис. 4, а) поля составов пород дискриминируемых габбро-тоналитового и габбро-гранитового комплексов разобщены. Соответственно, не пересекаются и поля составов пород массивов Дашкесан и Гедабек. Полученные результаты указывают на геохимическую индивидуальность пород массива Дашкесан и могут рассматриваться как обоснование правомерности их выделения в отдельный магматический комплекс. На (рис 4, б) показано, что поля составов пород плагитогранитового, габбро-тоналитового и габбро-гранитового комплексов не пересекаются, что обосновывает геохимическую индивидуальность рассматриваемых комплексов в целом.

Изменение геохимических характеристик магматических пород, формировавшихся на протяжении 40 млн лет, в целом подтверждается трендом увеличения содержаний литофильных, редкоземельных и высокозарядных элементов.

3. Родоначальные расплавы магматических пород мезозойских комплексов выплавлялись из мантийного источника и контаминировались коровым материалом докембрийских и мезозойских пород в условиях островной дуги.

По времени становления все исследованные массивы интрузивных пород соответствуют доколлизийной стадии развития Лок-Гарабагской островной дуги, это однако не означает, что происхождение рассматриваемых массивов обусловлено процессами субдукции. Тем не менее, рассмотренные выше геохимические характеристики пород отчетливо

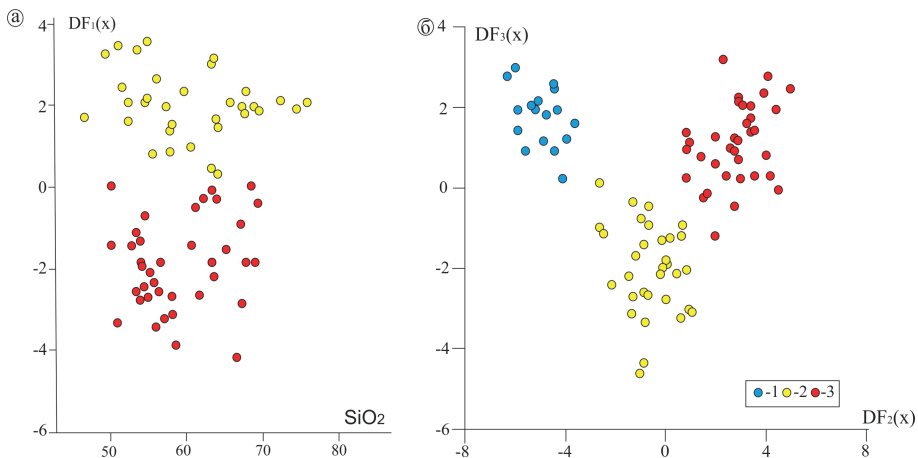


Рисунок 4.

а – Дискриминантная диаграмма $DF_1(x)$ – SiO_2 с фигуративными точками пород габбро-тоналитового и габбро-гранитового комплексов (средневзвешенная ошибка неправильной классификации равна 0, обобщенное расстояние Махаланобиса $DF_1(x) = 15.4$)

б – Дискриминантная диаграмма $DF_2(x)$ – $DF_3(x)$. Результаты дискриминантного анализа магматических пород: 1 – плагиогранитового; 2 – габбро-тоналитового; 3 – габбро-гранитового комплексов Лок-Гарабагской островной дуги.

указывают на сходство интрузивных пород плагиогранитового, габбро-тоналитового и габбро-гранитового комплексов с магматическими породами современных островных дуг. Это сходство подтверждается и расположением фигуративных точек на диаграммах, связывающих химический состав магматических пород с геодинамической обстановкой их формирования (рис. 5).

Породы всех трех комплексов формировались в одной и той же геодинамической обстановке, однако установленные значимые геохимические различия позволяют предполагать в качестве одного из факторов их геохимической эволюции существование различных источников для рассматриваемых магматических пород. Проведенные Sm-Nd изотопно-геохимические исследования показали, что все интрузивные породы трех изученных комплексов характеризуются примерно одинаковым значением $\varepsilon_{Nd}(t)$ (4.8–6.1) и значением модельного возраста ($t_{Nd}(DM) = 400$ – 700 млн лет). Значения $\varepsilon_{Nd}(t)$ на 4–5 единиц ниже, чем для деPLETED мантии на время формирования рассматриваемых пород, что указывает на добавление корового вещества с резко отличным изотопным составом Nd.

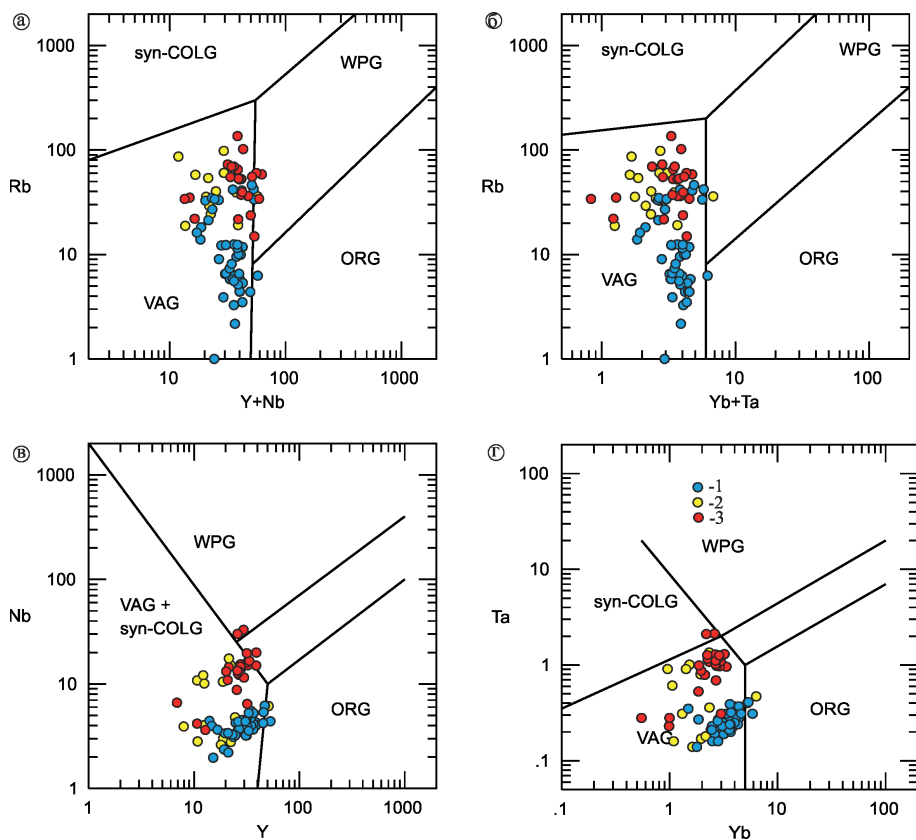


Рисунок 5. Дискриминационные диаграммы Дж. Пирса [Pearce, 1984]:

а – Y+Nb-Rb, б – Yb+Ta-Rb, в – Y-Nb, г – Yb-Ta. Обозначения на диаграммах: (ORG) – граниты океанических хребтов, (WPG) – внутриплитные граниты, (VAG) – граниты вулканических дуг, (COLG) – коллизионные граниты. Комплексы: 1 – плагиогранитовый; 2 – габбро-тоналитовый; 3 – габбро-гранитовый.

Неодимовый модельный возраст пород мезозойских комплексов примерно на 300 млн лет превышает возраст начала субдукции и таким образом также указывает на смешанный источник. Наиболее вероятно, что такой «добавкой» являются породы докембрийского фундамента, блоки которого известны в пределах Лок-Гарабагской зоны. В то же время в рассматриваемых мезозойских интрузивных породах отмечаются ксеногенные зерна циркона, имеющего докембрийский возраст. Прини-

мая во внимание, что изотопно-геохимические характеристики пород лежат в узком диапазоне ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0.70402\text{--}0.70577$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}=0.51281\text{--}0.51290$) и одинаковые значения $\varepsilon_{\text{Nd}}(t)$ для всех пород изученных комплексов, представляется очевидным, что источником для пород плагиогранитового, габбро-тоналитового и габбро-гранитового комплексов был мантийный клин и породы докембрийского фундамента, «смешанные» примерно в одинаковой пропорции. Однако в условиях субдукционной обстановки состав выплавляемых расплавов зависит и от ряда других факторов, таких как степень флюидной проработки мантийного клина (дегидратация слэба) и плавления субдуцированных фрагментов новообразованной «островодужной» коры. Вклад этих компонентов в источник родоначальных расплавов нельзя установить с помощью изотопно-геохимических данных, но можно оценить с помощью геохимических методов, в частности с помощью ряда геохимических диаграмм (рис. 6).

Низкие содержания Sr, U, Th, Ba, Rb, K, Zr, Ta, Nb, PЗЭ и низкое значение отношения $(\text{La/Yb})_n$ указывают на достаточно примитивный источник для гранитов плагиогранитового комплекса, что подтверждается и расположением их фигуративных точек на диаграмме Ta/Yb–Th/U (рис. 6) в максимальной близости (по сравнению с фигуративными точками пород других комплексов) к составу деплетированной мантии. На диаграммах Nb/Y, Th/Yb–Ba/Th, Ba/Nb–Nb Ba/La–Th/Yb (рис. 6) отчетливо проявлены только тренды, соответствующие низкотемпературной флюидной проработке источника (высокие отношения Ba, Ba/Th, Ba/Nb).

При становлении пород габбро-тоналитового комплекса помимо кристаллизационной дифференциации важную роль играла также коровая контаминация. При этом родоначальный расплав габброидов первой фазы выплавлялся из источника, проработанного низкотемпературным флюидом (высокие отношения Ba, Ba/Th, Ba/Nb), тогда как родоначальный расплав гранитоидов второй фазы контаминировался высокотемпературным силикатным расплавом, возникшим за счет плавления субдуцированных осадков (высокие отношения Th/Ba, Th/Yb, Th).

На родоначальные расплавы пород габбро-гранитового комплекса большое влияние оказывал высокотемпературный силикатный расплав, возникший за счет плавления осадков (высокие отношения Th/Ba, Th/Yb, Th).

Кроме того, отмечается отчетливый тренд, указывающий на мантийное обогащение источника (рис. 6), в целом не характерное для магматических пород, формирующихся в субдукционной обстановке.

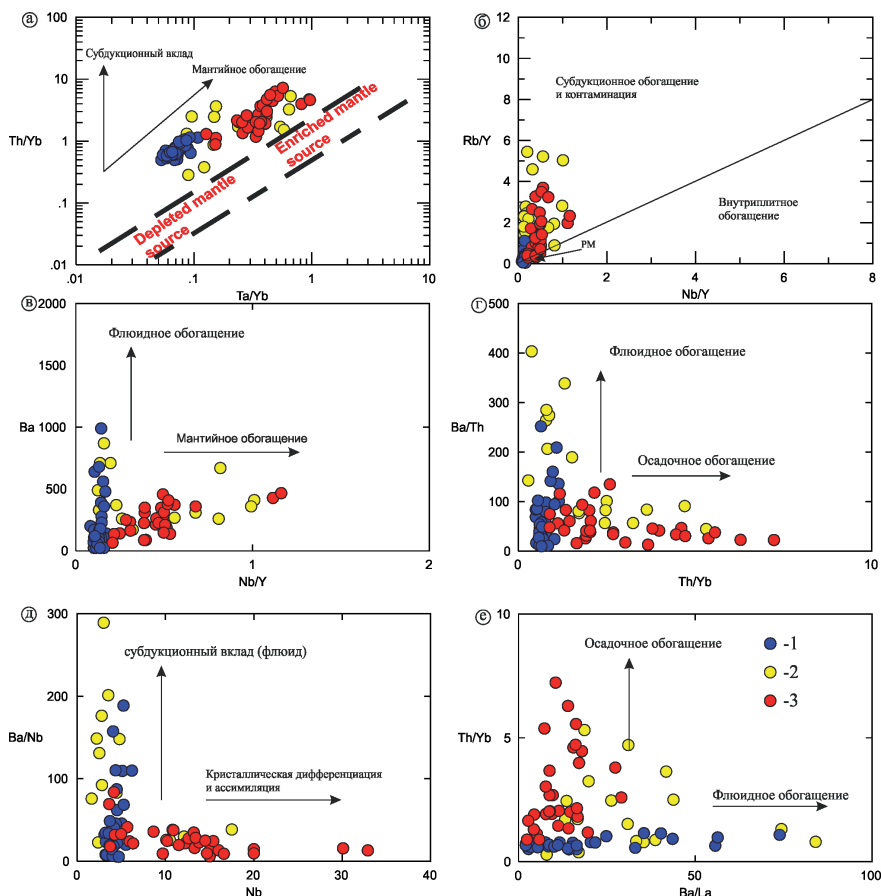


Рисунок 6. Диаграммы, идентифицирующие процессы мантийного обогащения, флюидного обогащения и осадочного обогащения источников с фигуративными точками пород мезозойских интрузивных комплексов Лок-Гарабагской островной дуги:

а – диаграмма $\text{Th/Yb}-\text{Ta/Yb}$ [Pearce, 1983]. Тренды мантийного обогащения и субдукционного вклада по Abratis [1998]; б – диаграмма $\text{Rb/Y}-\text{Nb/Y}$ [Termal et al., 1998]; в – диаграмма $\text{Ba}-\text{Nb/Y}$ [Kepezhinskas et al., 1997]; г – диаграмма $\text{Ba/Th}-\text{Th/Yb}$ [Мартынов, 2010]; д – диаграмма $\text{Ba/Nb}-\text{Nb}$ [Kepezhinskas et al., 1997]; е – диаграмма $\text{Th/Yb}-\text{Ba/La}$ [Woodhead et al., 2001]. Комплексы: 1 – плагиигранитовый; 2 – габбро-тоналитовый; 3 – габбро-гранитовый.

Причинами мантийного обогащения могут быть: 1) изначальная неоднородность мантии (наличие более обогащенных участков); 2) мантийный плюм; 3) субдукция океанического хребта с образованием slab-window;

4) отрыв слэба. Однако магматические породы того же возраста, что и Дашкесанский массив, сформированные в результате воздействия плюма, на исследованной территории не известны. А субдукция океанического хребта, как и отрыв слэба предполагают формирование массивов габбро-гранитового комплекса на конечной стадии субдукции, или даже в условиях коллизионной обстановки, что не соответствует имеющимся данным о времени закрытия Неотетиса. Таким образом, наиболее вероятно, что наблюдаемое мантийное обогащение обусловлено первичной неоднородностью мантийного клина, однако доказательство этого предположения требует дополнительных изотопно-геохимических исследований.

Гибридная модель формирования Дашкесана, предложенная [Кашкай, 1965], подтверждается разнообразием текстур и структур (присутствием многочисленных шлиров и кучевых скоплений темноцветных минералов), ассоциацией пироксена с калиевым полевым шпатом в габброидах и гранитоидах, прямой и обратной зональностью кристаллов плагиоклаза, появлением кварцевых «глазков», обрастающих пироксеном и амфиболом, наличием многочисленных ксенолитов и минглинговых структур [Baxter, Felly 2002; Wilcox 1999; Chappel 1996; Granite, 1990; Enclaves, 1991]. Полученные геохимические данные (поведение петрогенных элементов, отличное от типичных трендов кристаллизационной дифференциации, наличие положительной и отрицательной европиевой аномалии, относительно высокое содержание редкоземельных элементов и высокое значение $(La/Yb)_n$ в породах первой фазы, а также повышенные содержания Sr, U, Th, Ba, Rb, K, La, Ce, Zr, Hf, Ta, Nb, Th/Yb, Ta/Yb и относительно низкие содержания типичных для кислых дифференциатов микроэлементов) также указывают на то, что формирование магматических пород Дашкесанского интрузива происходило при участии не только кристаллизационной дифференциации и контаминации, но и при смешении магматических расплавов. Модель смешения была протестирована на основе миксинг-теста (mixing test) [Fourcade, Allergre, 1981]. Согласно результатам моделирования, габброиды Дашкесана могли формироваться в результате смешения 65–95 % основной магмы и 5–35 % гранитовой, при формировании кварцевых диоритов доля базальтовой составляла 40–70 %, а гранитоидов – около 15 %.

Фигуративные точки на диаграммах La/Sm–Sm/Yb позволяют предполагать увеличение уровня магомгенерации со временем, но при этом уровень наиболее глубинных пород габбро-гранитового комплекса остается в поле стабильности амфибола, не переходя в поле устой-

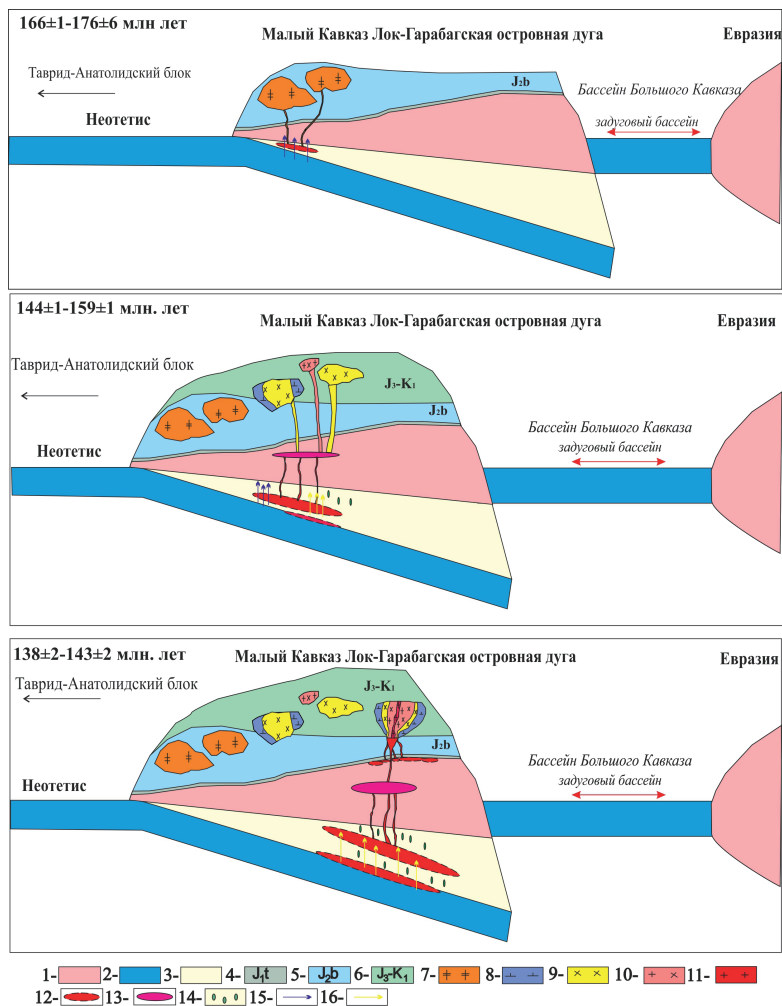


Рисунок 7. Схематическая модель формирования мезозойских комплексов Лок-Гарабагской островной дуги.

1 – докембрийский фундамент, породы PZ и осадочные породы нижней юры; 2 – океаническая плита; 3 – мантийный клин; 4 – осадочные породы нижней юры; 5 – среднеюрская байосская вулканогенно-осадочная толща; 6 – верхнеюрская–нижнемеловая вулканогенно-осадочная толща; 7 – плагиограниты; 8 – габброиды; 9 – диориты, кварцевые диориты; 10 – гранодиориты; 11 – граниты; 12 – зона плавления; 13 – промежуточная магматическая камера; 14 – мантийное обогащение; 15 – низкотемпературный флюид; 16 – высокотемпературный раствор.

чивости граната. Не исключено, что одним из факторов увеличения глубинности магмообразования было увеличение мощности новообразованной континентальной коры за счет вулканической деятельности и седиментогенеза.

Схематически обобщенная модель формирования мезозойских интрузивных комплексов Лок-Гарабагской островной дуги показана на рис. 7.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Массивы интрузивных комплексов Лок-Гарабагской дуги формировались в течение трех магматических событий: 166 ± 1 – 176 ± 6 млн лет – массивы плагиогранитового комплекса на начальной стадии развития островной дуги; 144 ± 1 – 159 ± 1 млн лет – массивы габбро-тоналитового комплекса и 138 ± 2 – 143 ± 2 млн лет – массив Дашкесан (габбро-тоналитовый комплекс) на зрелой стадии развития островной дуги.

2. Породы мезозойских интрузивных комплексов значительно различаются по вещественному составу пород, что в совокупности с геохронологическими данными подтверждает правомерность объединения изученных массивов в соответствующие комплексы.

3. Эволюция мезозойского магматизма прослеживается на геологическом, петрографическом и на геохимическом уровнях. На геологическом уровне отмечается последовательное усложнение строения формирующихся массивов, на петрографическом уровне – последовательное усложнение их минерального состава. А на геохимическом уровне прослеживается тренд увеличения содержаний крупноионных литофильных, высокозарядных и редкоземельных элементов в породах комплексов во времени.

4. Изотопно-геохимические данные свидетельствуют о том, что родоначальные расплавы пород всех трех комплексов формировались за счет плавления мантийного клина и контаминировались веществом докембрийской континентальной коры. При этом, согласно геохимическим данным, расплавы гранитоидов плагиогранитового комплекса и габброидов габбро-тоналитового комплекса формировались из источника, испытавшего существенную низкотемпературную флюидную переработку. Тогда как расплавы, из которых кристаллизовались гранитоиды габбро-тоналитового и породы габбро-гранитового комплексов, испытали интенсивное обогащение высокотемпературным силикатным расплавом

(в результате плавления субдущированных мезозойских осадочных пород), а их кристаллизация сопровождалась процессами фракционирования. Геохимические данные также показывают, что породы габбро-гранитового комплекса выплавлялись из более обогащенного мантийного источника.

5. Установленная тенденция возрастания степени обогащения источника как флюидной, так и субдукционной компонентами во времени от плагиогранитового комплекса к габбро-тоналитовому достигает максимума при становлении массива габбро-гранитового комплекса. Такое изменение состава источника представляется вполне закономерным в эволюции островодужного магматизма, поскольку степень флюидной переработки мантийного клина определяется, в том числе, и длительностью субдукции, а увеличивающийся со временем объем ювенильной коры повышает вероятность формирования аккреционных призм и вовлечения осадочных пород в зону субдукции.

6. Разнообразие пород габбро-гранитового комплекса, их геологические соотношения, а также петрографические и геохимические особенности связаны не только с процессами кристаллизационной дифференциации и коровой контаминации, но и с процессом смешивания (миксинг/миглинг) двух расплавов разного состава, подтверждая тем самым «гибридную» модель формирования Дашкесанского массива.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России:

1. Садыхов Э. А., Шатова Н. В. Геохимические характеристики и изотопное U-Pb датирование пород плагиогранитового плутонического комплекса Лок-Гарабахской зоны Малого Кавказа (Азербайджан) // Региональная геология и металлогения. – 2016. – № 66 – С. 67–74.
2. Садыхов Э. А., Шатова Н. В. U-Pb датирование (SHRIMP II) и геодинамические условия формирования массивов габбро-тоналитового комплекса Лок-Гарабахской зоны Малого Кавказа (Азербайджан) // Региональная геология и металлогения. – 2017. – № 69 – С. 49–60.
3. Садыхов Э. А., Велиев А. А., Байрамов А. А., Мамедов С. М. Изотопно-геохимические характеристики (Sm-Nd, Rb-Sr,S) и U-Pb SHRIMP II возраст Гедабекского интрузива (Азербайджан) // Региональная геология и металлогения. – 2018. – № 76 – С. 83–94.

В других изданиях:

4. **Садыхов Э. А.** Геодинамические обстановки формирования и перспективы платиноносности интрузива Гидамбир Шамкирского антиклинория (Малый Кавказ) // Мат-лы Международной конференции молодых ученых им. Карпинского. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2015. – С. 223–226.
5. **Садыхов Э. А.,** Шатова Н. В. Новые изотопные U-Pb датировки по цирконам и геохимические особенности габбро-тоналитового комплекса на Малом Кавказе // Мат-лы Международной конференции молодых ученых им. Карпинского. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2017. – С. 223–226.
6. **Садыхов Э. А.,** Шатова Н. В. Мезозойский габбро-тоналитовый комплекс Лок-Гарабагской тектонической зоны в структуре Малого Кавказа, геохимия, возраст и условия формирования // Мат-лы XXVII Всероссийской молодежной конференции «Строение литосферы и геодинамика», посвященная 115-летию со дня рождения профессора, д.г.-м.н. Валентины Георгиевны Ткачук. – Иркутск, 2017. – С. 201–202.
7. **Садыхов Э. А.** Геохимия, U-Pb датирование и геодинамические условия формирования габбро-гранитового комплекса Лок-Гарабахской тектономагматической зоны (Дашкесанский интрузив) // Мат-лы конференции «Граниты и эволюция Земли: мантия и кора в гранитообразовании». – Екатеринбург, 2017. – С. 264–266.
8. **Sadikhov E. A.,** Shatova N. V. Page Number:4154 Petrography, geochemistry, and radiometric dating U-Pb SHRIMP II of the tonalite complexes of the Lok-Karabakh, Lesser Caucasus (Azerbaijan), Abstract 35th International Geological Congress, Cape Town, South Africa.
9. **Sadikhov E. A.** Number 2210 Geochemistry, U-Pb Zircon Dating and Geodynamic Conditions of Gabbro-Tonalite Complex of Lesser Caucasus // Abstract Goldschmidt 2017, France, Paris.

Подписано в печать 8.02.2019. Формат 60 × 84/16.
Печать офсетная. Печ. л. 1,5 + 1 вкл. Тираж 120 экз.
Заказ № 401.20.

Отпечатано на Картографической фабрике ВСЕГЕИ
199178, Санкт-Петербург, Средний пр., 72
Тел. 328-8121, факс 321-8153

