

ОБЩАЯ И РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК 552.323.5

DOI: [10.23671/VNC.2020.1.59060](https://doi.org/10.23671/VNC.2020.1.59060)

Оригинальная статья

Догерцинские габбро-диориты верховьев реки Кубань (Северный Кавказ): геодинамическая типизация, геохимия и минерагения

В. М. Газеев^{1,2}, к. г.-м. н., А. Г. Гурбанов^{1,2}, к. г.-м. н., В. Ю. Герасимов³

¹Институт геологии рудных месторождений петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук, Старомонетный пер., 35, г. Москва 119017, Российская Федерация;

²Владикавказский научный центр Российской академии наук, ул. Маркуса, 22, г. Владикавказ 362027, Российская Федерация, e-mail: gazeev@igem.ru;

³Минералогический музей им. А. Е. Ферсмана Российской академии наук, Ленинский пр-т, д. 18, кор. 2, г. Москва 119071, Российская Федерация, e-mail: gera-igem2008@yandex.ru

Статья поступила: 02.12.2019, после рецензирования: 10.01.2020, принята к публикации: 13.01.2020

Резюме: Актуальность работы. Магматические породы на Большом Кавказе присутствуют в разрезах от ордовика до четвертичного периода. Выделены десятки разновозрастных магматических комплексов и свит содержащих вулканические породы приуроченных к узким структурно-формационным зонам. Однако геохимических исследований пород, на основе анализа распределения редкоземельных и редкометалльных элементов, все еще недостаточно и в первую очередь эта проблема касается раннепалеозойских образований. **Целью исследования** является получение (количественных) аналитических данных для расшифровки геодинамики раннего палеозоя. Объектом для исследований были выбраны тела догерцинских, огнейсованных габбро-диоритов «аманкольского» комплекса, распространенные в верховьях р. Кубань. **Методы.** Методы изучения, кроме геологического и петрографического описания, включали количественные RFA и ICP-MS анализы магматитов, рассмотрение геохимических характеристик, построение дискриминационных диаграмм, сравнение их с породами (эталоны) близких петрохимических типов, сформировавшихся в разнообразных геодинамических обстановках. **Полученные результаты и их обсуждение.** В результате комплексного изучения установлено, что габбро-диориты являются высокоглиноземистыми, умеренно титанистыми, умеренно магнезиальными породами известково-щелочной серии. Предполагается, что исходный расплав основного состава образовался при невысокой (1-3%) степени плавления шпинелевых перидотитов. Низкие значения $Mg\#$ 0,42-0,54, и содержания Ni позволяют считать, что, в процессе эволюции расплава происходило фракционирование оливина и пироксенов. Несовместимые элементы в габбро-диоритах и REE, нормированные по N-MORB и хондриту, образуют спектры наклонных линий, расположенных между профилями OIB и E-MORB, La_n/Yb_n отношение в пределах 6,4-8,0. Порода характеризуется повышенными концентрациями LILE, LREE, MREE и элементов индикаторов флюидного субдукционного компонента – Ba, U, Sr. На петрогенетических диаграммах фигуративные точки габбро-диоритов тяготеют к полям островодужных толеитов, андезитов океанических островов или активных континентальных окраин. Негативные аномалии Nb, Ta, P, Ti, Hf указывают на то, что породы формировались в надсубдукционных условиях. **Выводы.** Сравнение габбро-диоритов с породами близких петрохимических типов, показало, что они хорошо сопоставимы с породами зрелых вулканических островных дуг. Геохимическая специализация пород «аманкольского» комплекса литофильно-халькофильная. На основании полученных результатов сделано предположение о том, что в силурийское время (450-400 млн лет назад), на севере «Палеотетиса» в Прото-Кавказском регионе существовала островодужная геодинамическая обстановка.

Ключевые слова: петрография, дискриминационные диаграммы, островодужная геодинамическая обстановка, минерагения.

Благодарности: Работа подготовлена при поддержке гос. темы регистрационный номер АААА-А19-119040190054-8 в КНИО ВНЦ РАН.

Для цитирования: Газеев В. М., Гурбанов А. Г., Герасимов В. Ю. Догерцинские габбро-диориты верховьев реки Кубань (Северный Кавказ): геодинамическая типизация, геохимия и минерагения. *Геология и геофизика Юга России*. 2020. 10 (1): 6-20. DOI: [10.23671/VNC.2020.1.59060](https://doi.org/10.23671/VNC.2020.1.59060).

DOI: [10.23671/VNC.2020.1.59060](https://doi.org/10.23671/VNC.2020.1.59060)

Original paper

Pre-Hercynian gabbro-diorites from Kuban river head (Northern Caucasus): geodynamical typification, geochemistry and minerageny

V. M. Gazeev^{1,2}, A. G. Gurbanov^{1,2}, V. Yu. Gerasimov³

¹Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry, Russian Academy of Sciences, 35 Staromonetny Lane, Moscow 119017, Russian Federation;

²Vladikavkaz Scientific Center, Russian Academy of Sciences, 22 Markusa Str., Vladikavkaz 362027, Russian Federation, e-mail: gazeev@igem. ru;

³Mineralogical museum named A. E. Fersman, Russian Academy of Sciences, 18-2 Leninsky Avenue, Moscow 119071, Russian Federation, e-mail: gera-igem2008@yandex. ru

Received: 02.12.2019, revised: 10.01.2020, accepted: 13.01.2020

Abstract: The relevance of the work. Igneous rocks in the Greater Caucasus are present in sections from the Ordovician to the Quaternary. Dozens of different ages of magmatic complexes, confined to narrow structural and formation zones, are identified here. However, geochemical studies of rocks, based on an analysis of the distribution patterns of rare-earth and rare-metal elements, are still insufficient and this problem primarily concerns the Early Paleozoic formations. **Object.** In connection with this object, the bodies of pre-Hercynian, fire-bound gabbro-diorites of the "Amankol" complex, locally distributed in the upper part of Kuban river, were selected for research. **Methods.** The research methods, in addition to geological and petrographic descriptions, included quantitative RFA and ICP-MS analyzes of magmatites, consideration of geochemical characteristics, construction of discriminatory diagrams, their comparison with rocks (samples) of similar petrochemical types formed in various geodynamic settings. **Results.** As a result of a comprehensive study, it was found that gabbro-diorites are high-alumina, moderately titanitic, moderately magnesian rocks of the calc-alkaline series. It is assumed that the initial melt of the basic composition was formed at a low (1-3%) degree of melting of spinel peridotites. The low values of Mg # 0.42-0.54, and the Ni content suggest that, during the evolution of the melt, olivine and pyroxenes were fractionated. Incompatible elements in gabbro-diorite and REE, normalized to N-MORB and chondrite, form slanted line spectra located between the OIB and E-MORB profiles, Laⁿ/Ybⁿ ratio in the range of 6.4-8.0. The rock is characterized by increased concentrations of LILE, LREE, MREE and elements indicators of the fluid subduction component – Ba, U, Sr. On the petrogenetic diagrams, the figurative points of gabbro-diorites gravitate toward the fields of island-arc tholeiites, andesites of oceanic islands, or active continental margins. Negative anomalies of Nb, Ta, P, Ti, Hf indicate that rocks were formed under suprasubduction conditions. Comparison of gabbro-diorites with rocks of similar petrochemical types showed that they are well comparable with the rocks of mature volcanic island arcs. Geochemical specialization of rocks of the "Amankol" complex is lithophilic-chalcophilic. Based on the results obtained, it was assumed that in the Silurian time (450-400 million years ago), an island-arc geodynamic situation existed in the north of the Paleotetis in the Proto-Caucasian region.

Key words: petrography, geodynamical typification, geochemical specialization, minerageny.

Acknowledgments: This work was supported by State Topic registration number AAAA-A19-119040190054-8 in CRD VSC RAS.

For citation: Gazeev V. M., Gurbanov A. G., Gerasimov V. Yu. Pre-Hercynian gabbro-diorites from Kuban river head (Northern Caucasus): geodynamical typification, geochemistry and minerageny. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2020. 10 (1):6-20. DOI: 10.23671/VNC.2020.1.59060.

Введение

В верховьях р. Кубани и устьевых частях ее притоков Аминкол, Даут, Джаланкол, Худес, среди средне-верхнерифейских метапесчанников, филлитов, амфибо-

ловых и кварцитовидных сланцев, присутствует шесть небольших массивов (рис. 1), сложенных среднезернистыми заметно огнейсованными габбро-диоритами «аманкольского» комплекса (ГД АК). В настоящее время их рассматривают в качестве раннепалеозойских (силурийских) образований ($K-Ar$ возраст 400-450 млн лет [Афанасьев и др., 1971]). Небольшие интрузивы ГД, размером от первых сотен метров, до 1,6 км, пространственно ассоциируют с телами ультрабазитов, маркирующих надвиговые зоны. Местами они прорваны жилами аплитов, дайками среднепалеозойских габбро-диабазов (их $K-Ar$ возраст 386 ± 15 млн лет [Брюшкова, Красивская, 1977]), и позднепалеозойских гранит порфиров.

В тектоническом плане ГД АК приурочены к Кубанскому тектоническому блоку Карачаево-Черкесского горст-антиклинория, расположенному во фронтальной части Скифской эпигерцинской плиты. Рассматривая историю геологического развития региона, с целью разобраться с какими региональными геодинамическими процессами связано появление рассматриваемых пород отметим, что наиболее полно эта история может быть воссоздана только начиная с позднегерцинского вре-

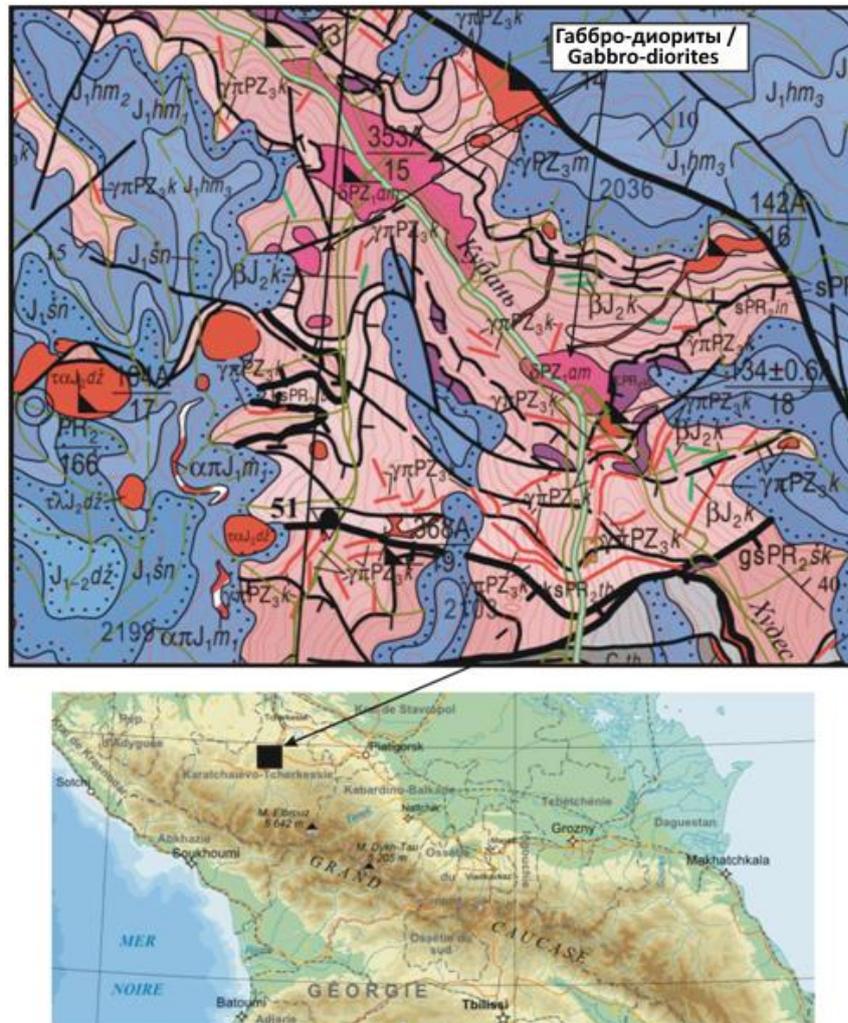


Рис. 1. Геологическая карта с интрузивами габбро-диоритового состава в верховьях р. Кубани (по материалам ФГУП «Кавказгеолсъемка» листы К-38- I, VII. 2004 г.). /

Fig. 1. Geological map with intrusive of gabbro-diorite composition on Kuban river head (according materials of FGUP 'Kavkazgeols'emka' listy K-38-I, VII. 2004)

мени. О раннегерцинском этапе известно лишь то, что в результате сближения и коллизии Предкавказского и Центрально Кавказского мегаблоков, их скучивания и шарьирования был создан первичный каркас Скифской эпигерцинской плиты (СП), с разделяющей их Армави́ро-Неви́номысской (Предкавказской) межблоковой шовной зоной. Считается, что в составе Центрально-Кавказского мегаблока были тектонически совмещены фрагменты Макерской, Буульгенской, Армовско-Шаукольской и Бечасынской континентальных микроплит и колчеданосных комплексов раннегерцинской Большекавказской островной дуги. Возникшая раннегерцинская покровно-складчатая расслоенная структура на этапе тектонического додавливания была рассечена системой субширотных разрывных нарушений сбросово-левоствиговой морфологии. Раннегерцинская коллизия уже в карбоне плавно сменилась обстановкой активной окраины островодужного (андского) типа. С внедрением позднепалеозойских гранитных интрузивных комплексов происходила консолидация земной коры с окончательным оформлением фундамента молодой Скифской плиты. Догерцинская история развития региона менее изучена и различается в каждой из тектонически совмещенных микроплит [Письменный, и др., 2004]. В разные годы XX века ГД АК рассматривались в составе двух самостоятельных формаций: 1 – позднепалеозойской сиенит – диоритовой локализованной в зоне Передового хребта; 2 – раннепалеозойской габбро-сиенитовой, развитой в догерцинском кристаллическом субстрате Бечасынской зоны [Брюшкова, Красивская, 1977]. На государственных геологических картах Большого Кавказа изданных в конце XX и начале XXI веков раннепалеозойские магматические образования представлены породами аманчатского, туялинского и архызского комплексов. Их геохимическое изучение представляется актуальным для уточнения типов геодинамических процессов влиявших на региональные структуры в раннем палеозое. В настоящей публикации приведены результаты петролого-геохимического изучения огнейсованных ГД АК, рассмотрена их геодинамическая типизация и минерогения.

Цели и методы исследования. На государственных геологических картах Большого Кавказа изданных в конце XX и начале XXI веков раннепалеозойские (ордовик-силурийские) магматические образования представлены породами аманчатского, туялинского и архызского комплексов и вулканитами Карабекской и Даутской свит. Целью исследования является получение сопоставимых (количественных) аналитических данных и в последующем проведение корреляционного анализа для расшифровки геодинамики раннего палеозоя. **Объектом изучения** выбраны огнейсованные габбро-диориты «аманкольского» комплекса, локально распространённые в верховьях р. Кубани. Материалом для исследования послужила коллекция образцов собранная авторами в 2017 г. Из образцов изготовлены шлифы и проведено их петрографическое изучение. Аналитические работы выполнены в ЦКП «ИГЕМ – Аналитика»: в 9 пробах проведены определения концентраций петрогенных и микроэлементов рентгено-флюоресценным анализом (*XRF*) на спектрометре «Респект-100»; рудных, редких и редкоземельных элементов, – методом спектроскопии с индукционно-связанной плазмы с масс-спектрометрическим окончанием (*ICP-MS*) на масс-спектрометре *X-Series II*. Используются методики и условия анализов принятые в ЦКП «ИГЕМ – Аналитика» и ФГБУН ИГЕМ РАН. Точность анализа контролировалась путем измерения российских и международных стандартных образцов. На основании полученных результатов построены классификационные, дискриминационные диаграммы и графики. Проведено сравнение

концентраций элементов с породами (эталоны) близких петрохимических типов разнообразных геодинамических обстановок. Дополнительно, при построении диаграмм использованы химические анализы из литературных источников [Брюшкова, Красивская, 1977].

Краткая петрографическая характеристика пород

Обследованные участки интрузивных тел сложены равномерно – средне, либо крупнозернистыми габбро-диоритами, которые заметно деформированы и метаморфизованы, что выражается в их гнейсовидной текстуре и повсеместном развитии вторичных минералов. Микроструктура пород реликтовая габбровая (рис. 2-1). Первоначальная структура часто изменена до гетерогранобластической и нематобластической (рис. 2-2). Порода состоит из плагиоклаза (андезин) который наблюдается в виде широкотаблитчатых, иногда зональных, заметно деформированных и сосюритизированных кристаллов, содержащих включения карбоната *in-situ*, в суммарном количестве плагиоклаз заметно преобладает над темноцветными минералами, которые представлены амфиболом, актинолитом, биотитом, флогопитом, хлоритом. В меньших количествах присутствуют эпидот, клиноцоизит, цоизит, кар-

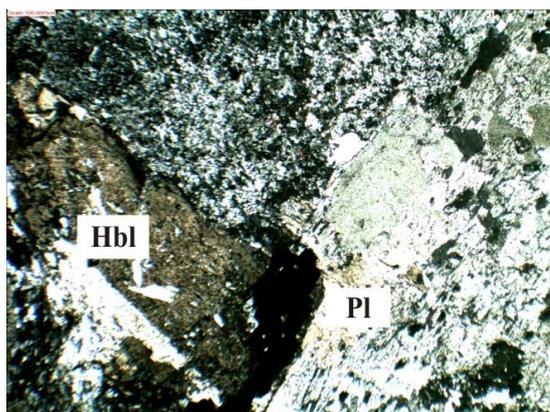


Рис. 2-1. Структура реликтовая габбровая. /
Fig. 2-1. Structure relict gabbro

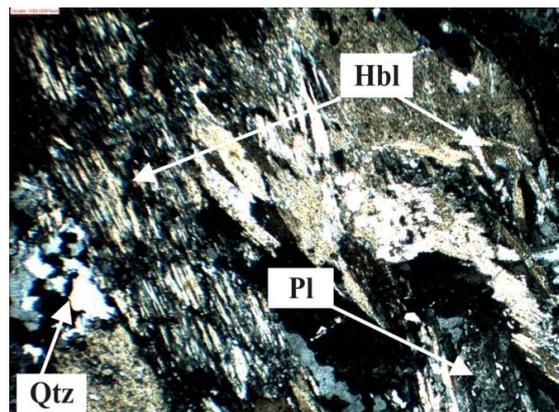


Рис. 2-2. Структура нематобластическая. /
Fig. 2-2. Nematoblastic structure

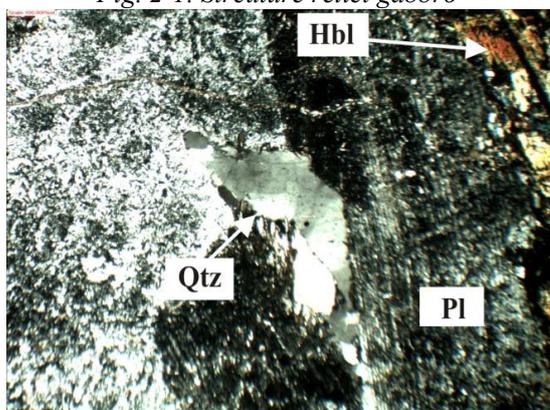


Рис. 2-3. Зерна кварца между кристаллами
плагиоклаза. /

Fig. 2-3. Grains of quartz between crystals of
plagioclase

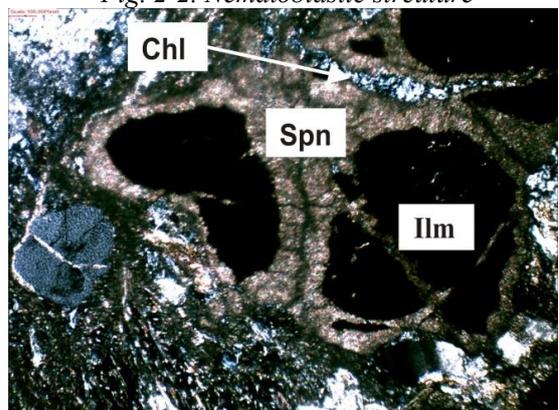


Рис. 2-4. Каемка сфена на кристаллах
ильменита. /

Fig. 2-4. Rim of sphene on the crystal of ilmenite

Рис. 2. Микрофотографии пород (Д – диагональ снимков 2,9 мм). /
Fig. 2. Photomicrography of rocks (D -diagonal photo 2.9 mm)

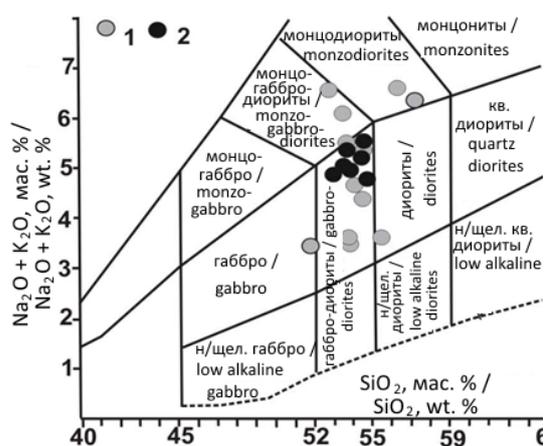


Рис. 3-1. Na_2O+K_2O - SiO_2 /
 Fig. 3-1. Na_2O+K_2O - SiO_2

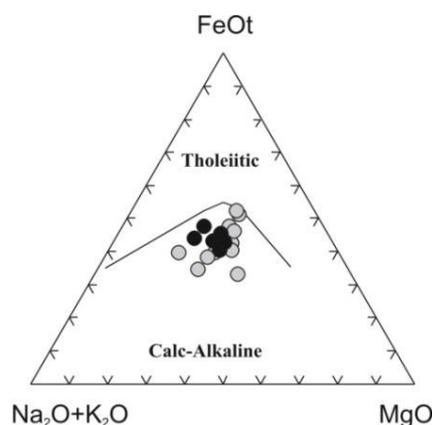


Рис. 3-2. (Na_2O+K_2O) - $FeOt$ - MgO /
 Fig. 3-2. (Na_2O+K_2O) - $FeOt$ - MgO

Рис. 3. Составы пород на классификационных диаграммах. Условные обозначения:

1 – анализы из публикаций; 2 – RFA. «ИГЕМ-Аналитика».

Fig. 3. Rocks composition on classificational diagram. Legend:

1 – analysis from articles; 2 – RFA. “IGEM-Analytica”

бонат, кварц, сфен, рутил, ильменит, лейкоксен, пирит, апатит. Крайне редко встречается моноклинный пироксен, замещаемый актинолитом, и циркон. Кварц отмечается в незначительных количествах и обычно он располагается между кристаллами деанортизированного плагиоклаза – на участках с реликтовой кристаллизационной структурой (рис. 2-3) и на участках с нематобластическим структурным узором. Зерна кварца обладают волнисто-дымчатым погасанием. Сфен образует каемки на кристаллах ильменита (рис. 2-4).

Петрохимические и геохимические характеристики пород

На классификационных диаграммах (рис. 3) фигуративные точки составов изученных пород АК преимущественно группируются в поле габбро-диоритов $(Na_2O+K_2O) - SiO_2$ известково-щелочной серии $(Na_2O+K_2O) - FeOt-MgO$.

На диаграммах SiO_2 – петрогенные элементы (рис. 4) не отмечаются корреляционные тренды петрогенных оксидов из-за малого интервала по содержанию SiO_2 в рассматриваемой выборке. Габбро-диориты АК (табл. 1) являются высоко и умеренно титанистыми, высоко глиноземистыми $Al = 1,19-1,5$, умеренно магниезальными $Mg\# 0,42-0,54$, умеренно калиевыми породами, с кали-натровым и натровым типом щелочности $Na_2O/K_2O = 2,3-7,4$. U/Th отношение варьирующее от 0,39 до 0,61 указывает на отсутствие изменений состава пород наложенными процессами. На петрогенетических и дискриминационных диаграммах фигуративные точки (ФТ) ГД АК расположены в полях пород следующих геодинамических обстановок: на диаграмме $TiO_2-MnO^*10-P_2O_5^*10$ [Mullen, 1983] (рис. 5-1) ФТ группируются вдоль границы полей толеитов островных дуг и андезитов океанических островов; на диаграмме $FeOt-MgO-Al_2O_3$, в поле базальтоидов вулканических дуг и активных континентальных окраин (рис. 5-2); на диаграмме $La/10-Y/15-Nb/8$ в поле известково-щелочных базальтов вулканических дуг [Cabanis, Lecolle, 1989] (рис. 5-3); на

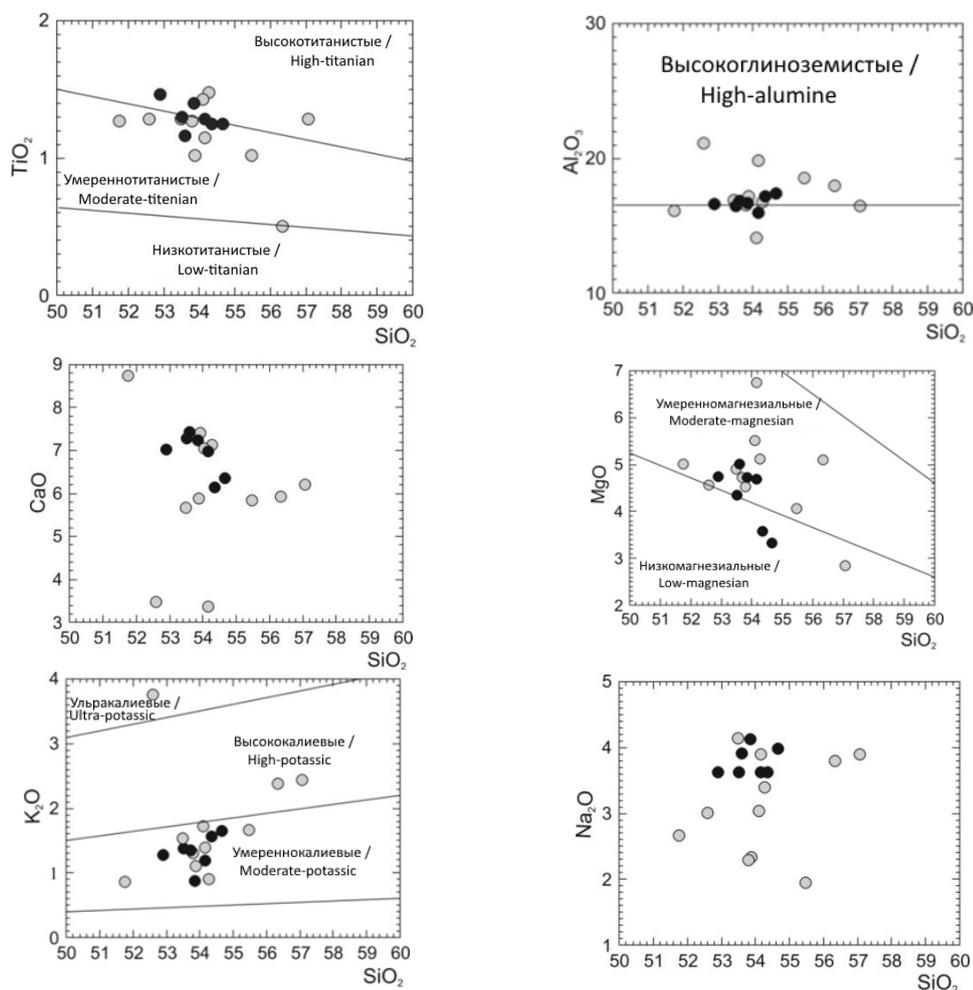


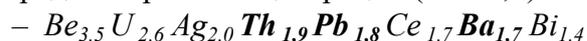
Рис. 4. Диаграммы концентраций петрогенных компонентов (в мас. %). Условные обозначения см. на рисунке 3. /
 Fig. 4. Diagrams of petrogenic components (in wt. %) concentration.
 Legend on Fig. 3.

диаграмме $Ba/Nb - La/Nb$ в поле базальтов вулканических дуг [Pang et al., 2013] (рис. 5-4); на диаграмме разграничения мантийных источников $Nb/Y-Zr/Y$ [Condie, 2005] (рис. 5-5) фигуративные точки сгруппированы в поле *OPB* – базальтов океанических плато и частично в поле (*IAB*, *ACMB*) – пород островных дуг и активных континентальных окраин, образуя область, простирающуюся от *PM* (компоненты примитивной мантии) к *EN* (компонента обогащенной мантии); на диаграмме $Sm/Yb-La/Sm$ (рис. 5-6) составы ГД АК группируются вблизи тренда плавления шпинелевых перидотитов [Школьник и др., 2009]. Ni/Co отношение для мантийных выплавов находится в пределах 2,5-5,0, а у ГД АК этот показатель варьирует в пределах 1,7-2,0.

Редкоземельные элементы (табл. 2) нормированные по хондриту [San, McDonough, 1989] образуют спектр наклонных линий, расположенных между профилями *OIB* и *E-MORB* (рис. 6). Концентрации *LREE* и *MREE* ближе к *OIB*. La^{III}/Yb^{III} отношение (показатель степени фракционирования *REE*) находится в пределах 6,4-8,0; $La^{III}/Sm^{III} - 2,1-2,7$; $Gd^{III}/Yb^{III} - 2,1-2,4$. Величина количественного дефицита

европия Eu/Eu^* ($Eu^* = (Sm^m + Gd^m)/2$) составляет 0,86-1,04. Сумма REE составляет 131-147 г/т. Концентрации несовместимых элементов, нормированные по *N-MORB* [San, McDonough, 1989], образуют спектр состоящий из криволинейных линий, располагающихся между профилями *E-MORB* и *OIB*. Заметно обогащение пород крупноионными литофилами – *LILE*, *LREE*. Отмечается, что содержания элементов индикаторов флюидного субдукционного компонента *Ba*, *U*, *Sr* образуют положительные аномалии выше линии *OIB*. Высокозарядные элементы *Nb*, *Ta*, *P*, *Ti* образуют негативные и отрицательные *Hf* аномалии.

Для уточнения геохимической специализации ГД АК составлены ранжированные ряды кларков концентрации (Кк > 1,1) и они имеют следующий вид:



Их геохимическое сравнение с породами близкого петрогеохимического типа, двенадцати геодинамических обстановок [Гусев и др., 1999] показывает, что они сопоставимы с магматическими породами зрелых и развитых островных дуг, и краевых вулканоплутонических поясов активных континентальных окраин.

Таблица 1 / Table 1

**Результаты RFA габбро-диоритов. (оксиды в масс. %; элементы в г /г). /
Results of RFA of gabbro-diorites. (oxides in wt. %, elements – in ppm)**

	76/17	77/17	78/17	79/17	80/17	81/17	82/17
SiO ₂	53,53	54,16	52,91	53,86	53,59	54,35	54,66
TiO ₂	1,30	1,28	1,46	1,40	1,16	1,25	1,25
Al ₂ O ₃	16,47	15,96	16,61	16,68	16,72	17,18	17,40
Fe ₂ O ₃	8,34	8,65	8,95	8,36	8,09	9,07	8,24
MnO	0,12	0,12	0,13	0,12	0,13	0,14	0,130
MgO	4,34	4,68	4,75	4,73	5,01	3,57	3,33
CaO	7,27	6,98	7,02	7,24	7,42	6,15	6,36
Na ₂ O	3,63	3,63	3,63	4,12	3,91	3,63	3,98
K ₂ O	1,38	1,19	1,28	0,88	1,35	1,56	1,65
P ₂ O ₅	0,30	0,31	0,35	0,15	0,21	0,30	0,27
S	<0,02	<0,02	<0,02	0,04	<0,02	<0,02	<0,02
ppm	3,04	2,78	2,64	2,23	2,15	2,53	2,46
Сумма /	99,72	99,74	99,73	99,81	99,74	99,73	99,73
Cr	128	163	138	142	164	16	46
V	200	157	183	158	184	155	176
Co	24	26	28	24	26	15	17
Ni	45	51	49	48	49	10	12
Cu	22	29	15	<10	12	<10	7
Zn	92	98	101	90	88	88	97
Pb	14	14	<10	14	11	15	13
Rb	38	35	38	25	35	41	42
Sr	531	487	519	530	514	588	511
Ba	621	476	530	422	528	539	591
Nb	8	8	8	9	8	9	10
Zr	93	72	29	16	111	147	106
Y	25	25	30	22	25	29	30

Примечание: р. Даут – 76/17, 77/17; р. Аманкол – 78/17, 79/17,80/17; устье р. Худес – 81/17,82/17. /
Comment: r. (river) Daut – 76/17, 77/17; r. Amankol – 78/17, 79/17,80/17; mouth r. Khudes – 81/17,82/17

*Таблица № 2 / Table 2***Результаты ICP-MS габбро-диоритов. / Results ICP MS gabbro-diorites.**

Элементы в г/т Elements in ppm	Номера проб / Numbers of the samples					
	76/17	78/17	80/17	81/17	82/17	83/17
Li	21,2	25,0	16,2	16,5	17,9	16,8
Be	1,487	1,198	1,671	1,232	1,921	1,31
Sc	28,37	30,97	25,63	34,4	28,16	33,14
Ti	9823	11290	8611	14290	9392	13620
V	294,5	263,7	225,1	345,8	244,2	345
Cr	150,4	161,2	47,98	101,8	52,51	100,9
Mn	1156	1367	1130	1421	1306	1403
Co	30,8	34,88	20,74	34,9	22,2	34,06
Ni	52,01	59,96	19,34	40,86	20,66	38,65
Cu	32,54	24,94	14,63	32,65	15,84	32,36
Zn	121,6	137,3	116,6	131	124,9	131,1
Rb	46,23	45,72	46,38	15,62	50,19	15,49
Sr	685,8	691,5	609	800,8	665,3	764,9
Y	25,27	28,33	28,04	28,73	30,25	27,72
Zr	33,46	30,7	24,76	23,92	26,96	22,92
Nb	7,781	8,112	9,537	8,014	10,14	7,848
Mo	1,67	1,218	1,117	1,296	1,146	1,241
Ag	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Cd	0,169	0,203	0,198	0,211	0,165	0,234
Cs	0,768	0,882	1,113	0,887	1,196	0,842
Ba	751,4	636	610,5	376,6	662,7	364,4
La	22,55	24,99	25,28	21,41	27,21	20,72
Ce	50,26	55,69	54,67	49,04	58,56	48,13
Pr	6,583	7,571	7,375	6,671	7,63	6,655
Nd	27,78	31,79	29,62	28,72	31,12	28,42
Sm	5,823	6,629	6,108	6,374	6,533	6,338
Eu	1,721	2,025	1,749	2,171	1,916	2,188
Gd	5,911	6,623	6,087	6,512	6,693	6,282
Tb	0,84	0,931	0,884	0,944	0,989	0,9
Dy	4,319	4,914	4,787	5,025	5,299	5,017
Ho	0,902	0,987	0,998	1,042	1,082	1,014
Er	2,447	2,683	2,676	2,731	2,979	2,748
Tm	0,35	0,379	0,389	0,396	0,42	0,399
Yb	2,095	2,237	2,319	2,332	2,6	2,309
Lu	0,323	0,344	0,366	0,366	0,407	0,363
Hf	1,126	1,007	0,901	0,815	0,911	0,786
Ta	0,447	0,474	0,574	0,495	0,641	0,457
W	1,172	1,128	0,907	0,627	1,011	0,578
Pb	11,03	9,493	11,33	11,43	11,85	11,13
Bi	0,073	0,076	0,071	0,068	0,077	0,071
Th	4,184	5,526	3,199	2,561	3,527	2,471
U	2,1	2,61	1,252	1,253	1,413	1,234
ΣREE	131,9	147,8	143,3	133,7	153,4	131,5

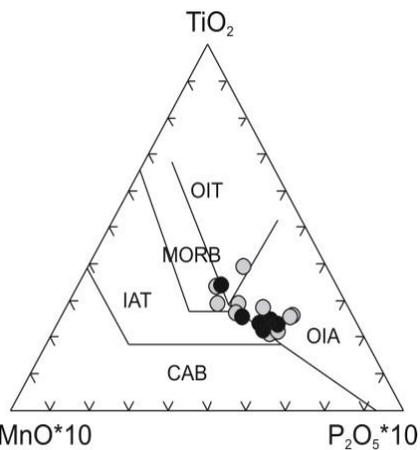


Рис. 5-1. TiO_2 - $MnO \cdot 10$ - $P_2O_5 \cdot 10$ /
Fig. 5-1. TiO_2 - $MnO \cdot 10$ - $P_2O_5 \cdot 10$

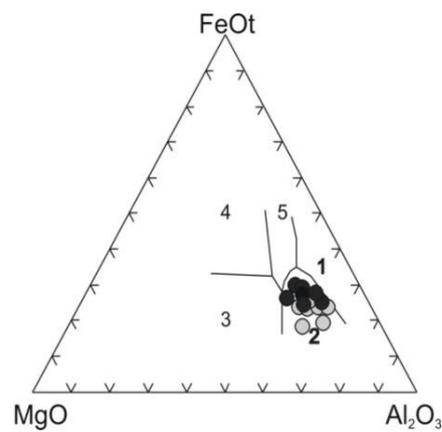


Рис. 5-2. $FeOt$ - MgO - Al_2O_3 /
Fig. 5-2. $FeOt$ - MgO - Al_2O_3

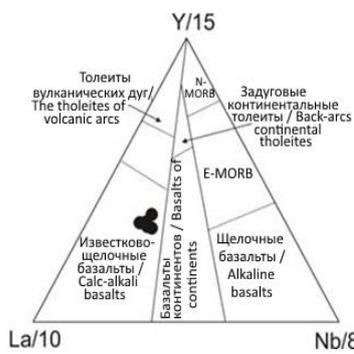


Рис. 5-3. $La/10$ - $Y/15$ - $Nb/8$ /
Fig. 5-3. $La/10$ - $Y/15$ - $Nb/8$

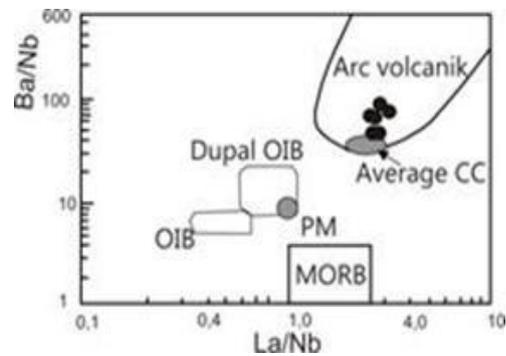


Рис. 5-4. Ba/Nb - La/Nb /
Fig. 5-4. Ba/Nb - La/Nb

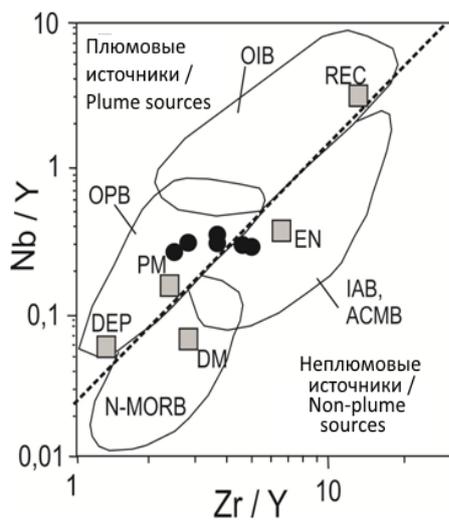


Рис. 5-5. Nb/Y - Zr/Y /
Fig. 5-5. Nb/Y - Zr/Y

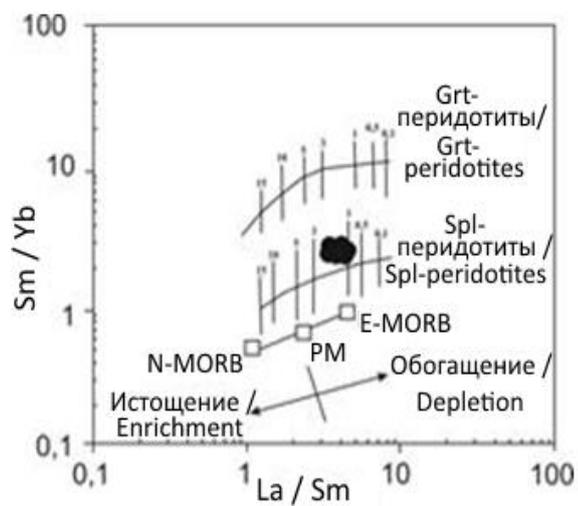


Рис. 5-6. Sm/Yb - La/Sm /
Fig. 5-6. Sm/Yb - La/Sm

Рис. 5 Составы пород на петрогенетических диаграммах. Условные обозначения см. на рисунке 3. /
Fig. 5. Compositions of rocks on the petrogenetic diagrams. Legend: look at fig. 3.

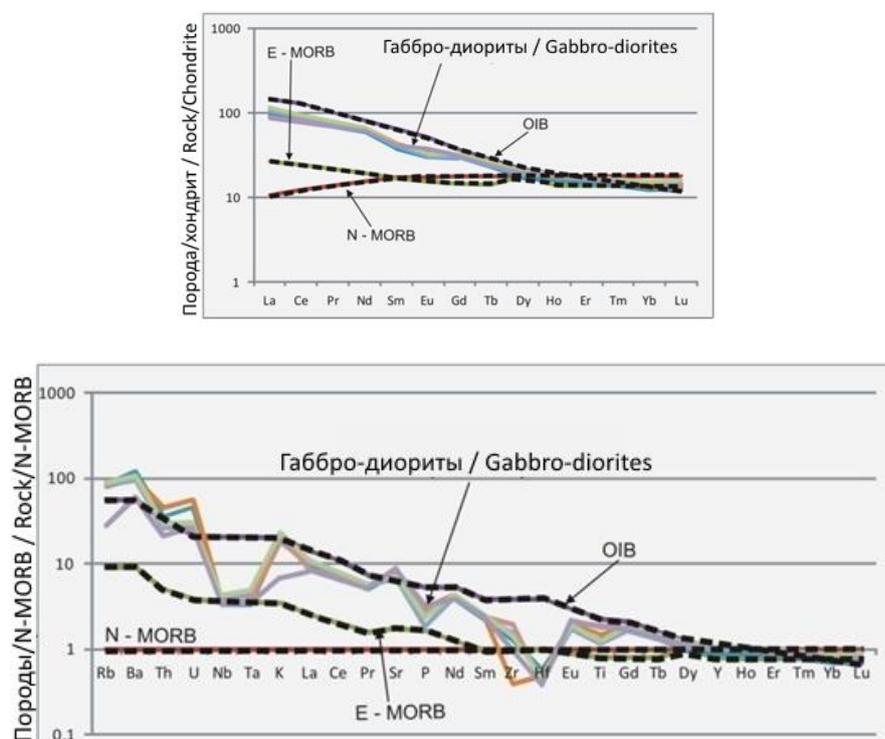


Рис. 6. Составы габбро-диоритов на спайдер диаграммах. Концентрации REE, нормированные к хондриту, концентрации несовместимых элементов, нормированные к N-MORB, по [San, McDonough, 1989]. /

Fig. 6. Compositions of gabbro-diorites on spider diagrams. Concentrat of REE are normalized to chondrite, concentrate of incompatible elements are normalized to к N-MORB according [San, McDonough, 1989].

Результаты и их обсуждение

Изученные ГД АК относятся к высокоглиноземистым, умеренно титанистым, умеренно магниальным породам нормальной щелочности известково-щелочной серии. Они являются производными расплава образовавшегося при плавлении шпинелевых перидотитов (рис. 5-6). Низкие значения $Mg\# = 0,42-0,54$, и содержания Ni позволяют предполагать, что, в процессе эволюции этого расплава происходило фракционирование оливина и пироксенов. Несовместимые элементы и REE, нормированные по N-MORB и хондриту [San, McDonough, 1989], образуют спектры наклонных линий, расположенных между профилями OIB и E-MORB (рис. 6). Породы характеризуются повышенными концентрациями LILE, LREE, MREE и элементов индикаторов флюидного субдукционного компонента Ba, U, Sr. Имеются негативные аномалии Nb, Ta, P, Ti и отрицательная аномалия Hf – элемента индикатора участия субдукционного осадка в магмагенезисе [Мартынов, 2010]. Анализ петрогенетических диаграмм (рис. 5) показал, что фигуративные точки ГД АК чаще всего группируются в полях пород вулканических дуг, либо вулканических дуг и активных континентальных окраин и андезитов океанических островов.

Известно, что островодужные расплавы образуются при плавлении пород мантийного клина с участием флюида и расплавов субдуцирующей океанической коры. Для пород сформировавшихся в этой обстановке характерно относительное обеднение Nb, Ta, Zr, Hf относительно LILE, LREE, MREE. Этот феномен объясняют

обогащением перидотитов мантийного клина флюид мобильными элементами, а содержания HFSE (*Nb, Ta, Zr, Hf*) остаются такими же какими были до флюидного обогащения [McCulloch, Camble, 1991]. Факторы, контролирующие поведение *Ti* могут быть ранжированы следующим образом. На первом месте стоит обводненность среды, что снижает содержание этого металла в расплаве. Именно поэтому, особенно низкое содержание *Ti* характерно для магматических пород субдукционных зон. Затем следует давление, повышение которого способствует переходу *Ti* в расплав. По этой причине наблюдается возрастание его концентрации в более глубоких магмах. Еще отмечают зависимость содержания *Ti* от фемичности плавящегося субстрата. Эти факторы тесно связаны между собой [Абрамович и др., 1999]. Также известно, что существует корреляция между содержанием калия в вулканиках и глубиной сейсмофокальной зоны. Для базальтов и андезибазальтов $c_{SiO_2} = 52-56\%$. $H = 84K_2O + 73$, где *H* – глубина до зоны Беньофа [Зубин, Щеймович, 1979]. Или $H = 40,7K_2O - 3,09SiO_2 + 279,93$ [Пискунов и др., 1979]. В нашем случае это 183 км или 167 км. В связи с тем, что изучались интрузивные породы глубина до сейсмофокальной зоны вероятно меньше, на глубину становления ГД.

Отметим, что в процессе эволюции вулканических островных дуг они проходят несколько стадий своего развития. В связи с этим выделяют [Гусев и др., 1999]: юные вулканические островные дуги (ЮВОД); развитые вулканические островные дуги (РВОД); зрелые вулканические островные дуги (ЗВОД); краевые вулкано-плутонические пояса активных континентальных окраин (ВПП АКА). Геохимическая специализация ЮВОД в целом халькофильно-сидерофильная ($Cr_{1.5} Sc_{1.5} Co_{1.3} Ni_{1.2} Cu_{1.1}$). Для РВОД характерна халькофильная геохимическая специализация с низкими Кк ($Cu_{1.2} Zn_{1.1} Pb_{0.6}$). Для ЗВОД характерна литофильно – халькофильная геохимическая специализация ($Cu_{1.6} Pb_{1.3} Ba_{1.3} Th_{1.3} Zn_{1.1}$). Породы краевых ВПП АКА не имеют ярко выраженных отличий и по уровням концентрации петрогенных и микроэлементов занимают промежуточное положение между РВОД и ЗВОД. Геохимическая специализация обстановки в целом – литофильная ($Ba_{1.2} Zn_{1.0} Cu_{1.0}$).

Сравнение ГД АК с породами близких петрохимических типов, двенадцати разных геодинамических обстановок показало, что они хорошо сопоставимы с породами ЗВОД и близки с породами РВОД и краевых ВПП АКА. Геохимическая специализация пород литофильно-халькофильная. Рудные минералы в пробах протолочках габбро-диоритов представлены [Брюшкова, Красивская, 1977] ильменитом, пиритом, молибденитом, галенитом, киноварью и апатитом.

Исходя из изложенного, мы считаем, что с позднего ордовика начиная с периода 450-400 млн. лет тому назад, в регионе Большого Кавказа существовала островодужная геодинамическая обстановка. Согласно с результатами палеотектонических реконструкций Кавказского региона [Адамия и др., 1989], в раннем палеозое, на северной границе палеотетиса существовала сложная геодинамическая система, состоящая из двух островных дуг (Большого и Малого Кавказа), и разделявшего их морского бассейна окраинного типа. В связи с этим возникает ряд вопросов. Как соотносятся: 1 – ГД АК и позднесилур-среднедевонские островодужные вулканики урупской серии [Аджирей и др., 1976; Семенуха и др., 2009]; 2 – ГД АК и раннепалеозойские габброиды и пироксениты Архызского [Каденский, 1956; Хильтов, 1959] и Туялинского комплексов [Письменный и др., 2004; Семенуха и др., 2009.] из структурно-формационных зон Главного и Передового хребтов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучены петрохимические и геохимические особенности габбро-диоритов аминкольского комплекса. Доказано, что они являются высокоглиноземистыми, умеренно титанистыми и умеренно магнезиальными породами нормальной щелочности, что они сформировались в надсубдукционных условиях и имеют характеристики островодужных образований. На основании интерпретации результатов проведенных исследований сделано предположение о том, что в силурийское время (450-400 млн лет тому назад), в кавказском регионе существовала островодужная геодинамическая обстановка.

Литература

1. Абрамович И.И., Зелепугин С.В., Аглонов С.В. и др. Основы геодинамического анализа при геологическом картировании. // СПб.: ВСЕГЕИ, 1997. – 497 с.
2. Адамия Ш.А., Габуня Г.Л., Кутелия З.А., и др. Характерные черты тектоники Кавказа. // Сб., н. т. «Геодинамика Кавказа». – М.: Наука, 1989. – С. 3-15.
3. Ажгирей Г.Д., Баранов Г.И., Кропачев С.М. и др. Геология Большого Кавказа. – М.: «Недра», 1976. – 248 с.
4. Афанасьев Г.Д., Борсук А.М., Кондаков Л.А. и др. Конкретные магматические формации Северного Кавказа. // Изв. АН СССР, сер. Геол. – 1971. – №7. – С. 3-27.
5. Брюшкова Л.П. Красивская И.С. Габбро-диоритовая формация верховьев реки Кубани (Бечасынская зона) и ее положение в ряду древних магматических формаций Северного Кавказа. // Магматические формации Кавказа и юга Восточно-Европейской платформы. – М.: Наука, 1977. – С. 69-87.
6. Гусев Г.С., Кудрявцев Ю.К., Гуцин А.В. и др. Геохимическая и металлогеническая специализация структурно-вещественных комплексов. // СПб.: ВСЕГЕИ, 1999. – 514 с.
7. Зубин М.И., Шеймович В.С. О содержании K_2O в вулканитах связи с геоструктурными особенностями Южной Камчатки. // Докл. АН СССР. – 1979. – Т. 246. №5. – С. 1195-1198.
8. Каденский А.А. Магматическая геология Передового хребта Северо-Западного Кавказа. – Л.: Изд. АН СССР, 1956. – 278 с.
9. Мартынов И.А. Основы магматической геохимии. // Владивосток: Дальнаука, 2010. – 215 с.
10. Пискунов Б.Н., Абдурахманов А.И., Ким Чун Ун. Корреляция, состав, глубина и положение магматических очагов Курильских вулканов. // Докл. АН. СССР. – 1979. – Т. 244. №4. – С. 937-940.
11. Письменный А.Н., Пичужков А.Н., Зарубина М.А. и др. Государственная геологическая карта РФ. К-38-I, VII. Объяснительная записка. – 2004. – 259 с.
12. Семенуха И.Н., Черных В.И., Соколов М.Г. и др. Объяснительная записка, листы К-37-VI, К-37-XI (Карачаевск), серия кавказская, второе издание. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2009. – 204 с.
13. Хильтов Ю.Н. Геология и петрология Архызского интрузивного комплекса (Северный Кавказ). – М.: Изд. АН СССР, 1959. – 143 с.
14. Школьник С.И., Резницкий Л.З., Беличенко В.Г., Бараш И.Г. Геохимия, вопросы петрогенезиса и геодинамическая типизация метавулканитов Тункинского террейна (Байкало-Хубсугульский регион). // Геология и геофизика. – 2009. – Т. 50. №9. – С. 1013-1024.
15. Cabanis B., lecolle M. Le diagramme La/10-Y/15-Nb/8: un outil pour la discrimination des series volcaniques et la mise en evidence des processus de melange et/ou contamination crustale. // C.R. Acad. Sci. Ser. II. – 1989. – V. 309. – Pp. 2023-2029.
16. Condie K. C. High field strength element ratios in Archean basalts: a window to evolving sources of mantle plumes. – Lithos. – 2005. – V. 79. – Pp. 491-504.

17. Mullen E. D. MnO/TiO₂/P₂O₅: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis. // *Earth Planet. Sci. Lett.* – 1983. – V. 62. – Pp. 53-62.
18. McCulloch M. T., and Camble I.A. Geochemical and geodynamical constraints on subduction zone magmatism. // *Earth Planet. Sci. Lett.* – 1991. – V. 102. – Pp. 358-374.
19. Pang K. N., Zhou M. F. et al. Erratum to «Flood basalt-related Fe-Ti oxide deposits in the Emeishan large igneous province, SW China». – *Lithos.* – 2013. – V. 119. – Pp. 123-136.
20. Sun S. S., McDonough W. F. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts. // *Geol. Spec. Publ.* – 1989. – No. 42. – Pp. 313-345.

References

1. Abramovich I. I., Zelepugin S. V., Aplonov S. V. et al. Fundamentals of geodynamic analysis in geological mapping. St. Petersburg, VSEGEI, 1997. 497 p. (In Russ.)
2. Adamiya Sh. A., Gabuniya G. L., Kuteliya Z. A., et al. Characteristic features of Caucasus tectonics. In: Proceedings “Geodynamics of the Caucasus”. Moscow. Nauka, 1989. pp. 3-15. (In Russ.)
3. Azhgirei G. D., Baranov G. I., Kropachev S. M. et al. Geology of the Greater Caucasus. Moscow. Nedra, 1976. 248 p. (In Russ.)
4. Afanas'ev G. D., Borsuk A. M., Kondakov L. A. et al. Certain igneous formations of the North Caucasus. *Izvestiya of the Academy of Sciences of the USSR, ser. Geol.* 1971. No. 7. pp. 3-27. (In Russ.)
5. Bryushkova L. P. Krasivskaya I. S. Gabbro-diorite formation of the upper reaches of the Kuban River (Bechasyn zone) and its position among ancient magmatic formations of the North Caucasus. Magmatic formations of the Caucasus and the south of the East European platform. Moscow. Nauka, 1977. pp. 69-87. (In Russ.)
6. Gusev G. S., Kudryavtsev Yu. K., Gushchin A. V. et al. Geochemical and metallogenic specialization of structural-material complexes. St. Petersburg, VSEGEI, 1999. 514 p. (In Russ.)
7. Zubin M. I., Sheimovich V. S. The content of K₂O in volcanic rocks in connection with geostructural features of South Kamchatka. *Doklady of the Academy of Sciences of the USSR.* 1979. Vol. 246. No. 5. pp. 1195-1198. (In Russ.)
8. Kadenskii A. A. Magmatic geology of the Northwest Caucasus Peredovoi ridge. Leningrad. Published by USSR Academy of Sciences, 1956. 278 p. (In Russ.)
9. Martynov I. A. Fundamentals of magmatic geochemistry. Vladivostok: Dalnauka, 2010. 215 p. (In Russ.)
10. Piskunov B. N., Abdurokhmanov A. I., Kim Chun Un. Correlation, composition, depth and position of magma sources of the Kuril volcanoes. *Doklady of the Academy of Sciences of the USSR.* 1979. Vol. 244. No. 4. pp. 937-940. (In Russ.)
11. Pis'mennyi A. N., Pichuzhkov A. N., Zarubina M. A. et al. State geological map of the Russian Federation. K-38-I, VII. Explanatory note. 2004. 259 p. (In Russ.)
12. Semenukha I. N., Chernykh V. I., Sokolov M. G. et al. Explanatory note, sheets K-37-VI, K-37-XI (Karachaevsk), Caucasian series, second edition. Saint Petersburg. VSEGEI, 2009. 204 p. (In Russ.)
13. Khil'tov Yu. N. Geology and petrology of the Arkhyz intrusive complex (North Caucasus). Moscow. Published by USSR Academy of Sciences, 1959. 143 p. (In Russ.)
14. Shkol'nik S. I., Reznitskii L. Z., Belichenko V. G., Barash I. G. Geochemistry, questions of petrogenesis and geodynamic typification of metavolcanic rocks of the Tunkinsk terrane (Baikal-Khubsugul region). *Geology and geophysics.* 2009. Vol. 50. No. 9. pp. 1013-1024. (In Russ.)
15. Cabanis B., lecolle M. Le diagramme La/10-Y/15-Nb/8: un outil pour ladiscrimination des series volcaniques et lamise en evidence des processus de melange et/ou contamination crustale. *C. R. Acad. Sci. Ser. II.* 1989. Vol. 309. pp. 2023-2029.

16. Condie K. C. High field strength element ratios in Archean basalts: a window to evolving sources of mantle plumes. *Lithos*. 2005. Vol. 79. pp. 491-504.
17. Mullen E.D. MnO/TiO₂/P₂O₅: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis. *Earth Planet. Sci. Lett.* 1983. Vol. 62. pp. 53-62.
18. McCulloch M. T., and Camble I.A. Geochemical and geodynamical constraints on subduction zone magmatism. *Earth Planet. Sci. Lett.* 1991. Vol. 102. pp. 358-374.
19. Pang K. N., Zhou M. F. et al. Erratum to “Flood basalt-related Fe-Ti oxide deposits in the Emeishan large igneous province, SW China”. *Lithos*. 2013. Vol. 119. pp. 123-136.
20. Sun S. S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts. *Geol. Spec. Publ.* 1989. No. 42. pp. 313-345.