

## ВУЛКАНОЛОГИЯ

Х. Б. Меликсетян

### Проявление адакитов в составе плиоцен-четвертичного коллизийного магматизма Армении

(Представлено академиком Р. Т. Джрбашьяном 31/VIII 2015)

**Ключевые слова:** адакиты, нижняя кора, коллизийный магматизм, смещение маг.

**Введение.** Происхождение специфических адакитовых магм в островных дугах и в зонах коллизии, представляющих собой результат плавления базальтовой части субдуцируемой океанической коры или из нижней континентальной коры базальтового состава, является одной из самых дискутируемых проблем вулканологии и петрологии.

Термин “адакит” был предложен по названию острова Адак Алеутского архипелага для обозначения средних и кислых вулканических и плутонических пород с высокими Sr/Y и La/Yb отношениями, образующихся вследствие парциального плавления базальтовой части субдуцируемой океанической коры [1].

Хотя адакитовые магмы демонстрируют большое разнообразие составов и геохимических характеристик, однако до недавнего времени считалось, что адакиты могут генерироваться исключительно в островодужной обстановке [1] или в системах активных континентальных окраин [2,3]. Однако в последнее время появились данные о формировании адакитов также и в палео-коллизийных террейнах [4] и в активных коллизийных обстановках в Тибете и на Армянском нагорье [5-9].

К адакитам, образование которых связывают с плавлением архейской океанической коры, обычно относят также санукитоиды и тоналит-тронджемит-гранодиориты (ТТГ), слагающие значительную порцию древней континентальной коры в пределах архейских террейнов [10].

Помимо петролого-геохимических и вулканологических аспектов, изучение генерации адакитовых магм имеет также большое металлогеническое и экономическое значение, поскольку порфиоровые месторождения – наиболее значимые источники меди и эпитермальные месторождения – важные источники золота и серебра обычно генетически связаны с магматизмом адакитового геохимического типа [11-16].

Изучение адакитового вулканизма важно и с точки зрения вулканической опасности, поскольку адакитовые расплавы обогащены летучими компонентами и могут вызывать наиболее опасные, сильно взрывные извержения [2]. Также имеются модели, демонстрирующие, что смешение магм может явиться триггером сильных взрывных извержений [17].

В работе рассмотрены геохимия и изотопия плиоценовых адакитовых риолитов Цахкуняцкого хребта в центральной Армении и адакитовых гранитных ксенолитов из четвертичных лав вулкана Гарусар, на Сюникском нагорье в южной Армении.

**Образцы и аналитические методики.** В рамках данной работы проанализированы три образца обсидиана, отобранных автором в ходе полевых работ в пределах Цахкуняцкого хребта, и один образец гранитного ксенолита из продуктов извержения вулкана Гарусар. Анализ образцов на главные элементы произведен волновым рентгено-флюоресцентным методом (WDXRF) в университете Утрехта, Нидерланды (обр. А-237 и А-238) и в университете Лейчестера, Великобритания (обр. 135 и 1-4В-08).

Редкие и редкоземельные элементы обр. 135 и 1-4В-08 проанализированы методом ICP-MS в университете Лидса, а обр. А-237 и А-238 – методом LA-ICP-MS в университете Утрехта. Качество аналитических определений контролировалось параллельными анализами сертифицированных стандартов и многочисленными повторными анализами дубликатов образцов.

Изотопы стронция (обр. 135 и А-238) измерены при помощи мультиколлекторного масс-спектрометра Thermo-Scientific ICP-MS с использованием стандарта NBS987 в университете Лидса. Составы изученных адакитов Армении представлены в табл. 1.

**Таблица 1**

**Составы исследованных образцов адакитов Армении (оксиды главных элементов даны в весовых процентах, редкие элементы в ppm)**

	Риолиты Цахкуняцкого хр.			Ксенолит, вулкан Гарусар
	<b>А-237</b>	<b>А-238</b>	<b>А-135</b>	<b>1-4В-08</b>
SiO <sub>2</sub>	73.38	72.34	75.83	76.29
TiO <sub>2</sub>	0.13	0.11	0.14	0.07
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.65	13.08	13.23	13.24
FeO <sub>общ.</sub>	1.28	3.62	1.12	0.72
MnO	0.05	0.12	0.05	0.01
MgO	0.18	0.35	0.17	0.09
CaO	0.87	1.21	0.92	0.89
Na <sub>2</sub> O	4.46	4.30	4.35	3.62
K <sub>2</sub> O	4.27	4.10	4.42	5.23
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.01	0.01	0.02	0.01
п.п.п (LOI)	0.87	0.57	0.17	0.11

Сумма	99.15	99.80	100.42	100.28
V	6.6	5.9	7.1	6.9
Cr	0.9	0.6	0.6	0.0
Ni	1.3	0.8	0.6	0.3
Ti	773.4	674.4	827.1	440.9
Rb	130.9	75.9	66.6	72.0
Sr	224.1	191.1	227.8	591.2
Cs	3.9	2.4	2.9	0.8
Ba	1001.6	904.4	1038.0	809.0
Y	10.5	6.6	9.3	4.1
Zr	119.6	113.5	139.6	49.0
Hf	3.6	2.9	3.9	1.9
Nb	29.7	16.2	14.0	6.9
Ta	2.3	1.2	1.6	1.2
La	53.4	45.0	50.7	21.7
Ce	82.4	67.6	73.2	29.8
Pr	6.9	5.5	6.7	3.0
Nd	20.2	16.2	20.4	9.2
Sm	2.9	2.0	2.6	1.2
Eu	0.4	0.4	0.6	0.5
Gd	1.9	1.3	2.3	1.0
Dy	1.7	1.1	1.3	0.8
Er	1.0	0.7	0.9	0.6
Yb	1.2	0.8	1.1	0.5
Lu	0.2	0.1	0.2	0.1
Pb	36.3	22.0	29.8	19.9
Th	37.8	23.9	32.0	43.1
U	12.9	6.9	8.0	5.9
Sr/Y	21.4	28.8	24.4	142.7
La/Yb	44.7	54.2	45.4	40.4
K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	0.96	0.96	1.02	1.44
<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr		0.70519	0.704669	

**Адакитовый магматизм Армении и сопредельных территорий.** На Армянском нагорье проявления адакитов установлены в восточной Турции, в пределах восточной части Понтийского хребта, причем как в позднем палеоцене – раннем эоцене [18, 19], так и в позднем миоцене [20]. В СЗ Иране адакиты отмечены в олигоцене и миоцене [9,5]. В Армении до появления термина «адакит» термин «петрогенезис», идентичный адакитовому в зонах коллизии (плавление метабазитовой нижней коры), был предложен также и для некоторых интрузий Мегринского плутона на юге Малого Кавказа [21]. В работе [9] об адакитовых характеристиках некоторых интрузивных формаций Мегринского плутона на юге Армении.

В последние годы наши вулканологические и изотопно-геохимические исследования позволили интерпретировать образование больших объемов четвертичных трахиандезитов и трахидацитов Армении как результат смешения базальтовых мантийных и кислых адакитовых магм [6, 22, 23]. Данный вывод был основан как на геохимических трендах, так и изучении геохимии расплавных включений в минералах.

Однако до последнего времени “чистые” адакитовые лавы не были отмечены как продукты плиоцен-четверичного вулканизма Армении. Не были обнаружены также и признаки пространственной связи ареалов плиоцен-четвертичного и адакитового магматизма.

В настоящей работе впервые показано, что плиоценовые риолиты Цахкуняцкого хребта имеют геохимические характеристики, позволяющие отнести их к адакитам. В связи с обсуждаемой проблемой наличия “адакитового” компонента в формировании плиоцен-четвертичного вулканизма Армении [6] большой интерес представляет также идентификация адакитовых геохимических характеристик гранитных ксенолитов, содержащихся в продуктах извержения вулкана Гарусар Сюникского вулканического нагорья, что указывает на тесную пространственную связь очагов плиоцен-четвертичного и адакитового магматизма Армении.

Риолиты водораздельной части Цахкуняцкого хребта отнесены к 2-й фазе позднеколизийного кислого вулканизма Армении и нижнему плиоцену [24], с возрастными датировками в интервале 5.5 Ма по К/Аг [25] и 3.9-4.6 Ма по трэкам деления [26]. Риолиты представлены как обсидианами, так и порфиrowыми разновидностями. Риолиты Цахкуняцкого хребта, занимающие около 85 км<sup>2</sup>, приурочены к его склонам и водораздельной части, а также к куполовидным телам – Тгвакар, Нахарар, Дамлик и др., центры извержений риолитов обычно размыты или перекрыты более молодыми лавами андезитового и базальт-андезитового состава [24].

Гранитные ксенолиты, содержащиеся в пирокластических выбросах и лавовых потоках трахибазальтового шлакового конуса Гарусар, расположенного к 3-ЮЗ от вулкана Ишханасар в пределах Сюникского вулканического нагорья, были описаны как «хадалиты», образовавшиеся при попадании гранитных пород в очаг вулкана [27].

**Геохимия адакитов Армении.** Диаграмма Sr/Y vs. Y, по [1], (рис 1, А) показывает положение исследуемых пород в поле адакитов, в сравнении с другими адакитовыми магмами региона (Армения, восточные Понтиды, СЗ Иран), и широкие вариации Sr/Y отношений. Цахкуняцкие адакиты демонстрируют высокие, но минимальные для адакитов Sr/Y отношения (21-29), а адакитовый ксенолит вулкана Гарусар – высокие (143). Содержание иттрия в риолитах варьирует в пределах 6-11 ppm, а в ксенолитах Гарусара – 4 ppm, что значительно ниже в сравнении с островодужными и коллизионными магмами [6, 28].

Другим важным геохимическим индикатором адакитовых магм является резкое их обогащение легкими РЗЭ относительно тяжелых, при пониженных содержаниях тяжелых РЗЭ [1, 3 и др.]. Отношение La/Yb в исследуемых адакитах Армении колеблется в пределах от 40 до 54, при пониженных содержаниях Yb от 0.5 до 1.2 ppm (рис. 1, Б). Обычно высокие

Sr/Y и La/Yb отношения при пониженных концентрациях Yb и Y в адакитах связывают с особенностями парциального плавления метабазальтового субстрата при высоких давлениях и наличием в них гранатовых, амфиболовых и клинопироксеновых фаз.

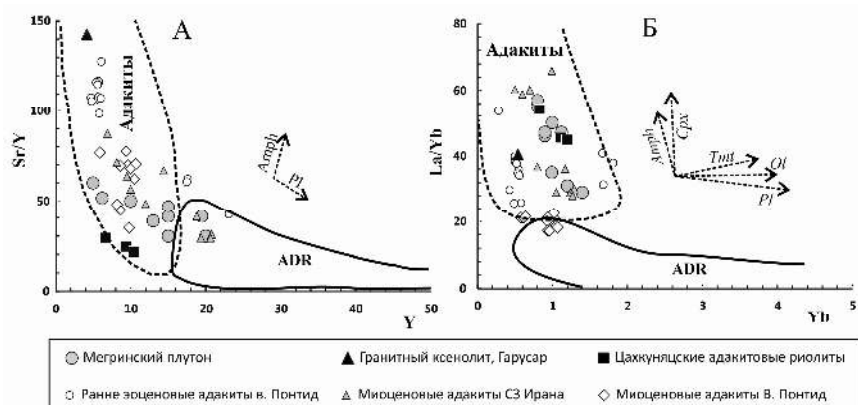


Рис. 1. Классификационные диаграммы для адакитов по [1], показывающие положение адакитов Армении и сопредельных территорий восточной Турции и северо-западного Ирана по [5, 18-20]. А – Sr/Y vs. Y; Б – La/Yb vs. Yb. ADR – композиционное поле “нормальных” андезитов, дацитов и риолитов.

По содержанию MgO и SiO<sub>2</sub> риолиты Цахкуняцкого хребта и гранитные ксенолиты вулкана Гарусар могут быть отнесены к низкомагнезиальным, высококремнеземистым адакитам [10,19]. По высоким отношениям K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O (0.96-1.44) исследуемые адакиты могут быть условно отнесены к нижнекоровым «континентальным» адакитам, поскольку адакиты, выплавленные из базальтовой (N-MORB типа) части океанического слэба, показывают низкие K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O [8, 20]. «Континентальные» адакиты образованы при компрессионном плавлении нижнекорового базальтового субстрата, геохимически отличного от MORB типа, характерного для адакитов зон субдукции [4].

Однако не существует единого мнения о составе и возрасте нижней коры в зонах коллизии. Сравнение изотопного состава коллизионных адакитов Тибета [8] и Армении свидетельствует об относительно молодом возрасте плавившегося базальтового субстрата нижней коры, в противном случае адакиты имели бы более радиогенный изотопный состав стронция.

Хотя для адакитов Тибета показано, что они образованы не из океанической коры [8], в то же время нет экспериментальных или иных данных, которые охарактеризовали бы адакиты как выплавки из базальтовой порции океанической коры при мелкомасштабной деляминации и наличии поглощенных фрагментов “протолитов” океанической коры (slices of oceanic crust) гетерогенного состава. Таким гетерогенным составом, в частности, характеризуется океаническая кора Тетиса исходя из состава офи-

олитов Армении и региона [29-33]. В указанных исследованиях показано наличие в океанической коре Тетиса базальтов MORB, E-MORB, OIB, BABB типов, в том числе с повышенными  $K_2O$  и отношениями  $K_2O/Na_2O$ . Поэтому, с нашей точки зрения, вопрос субстрата образования адакитов зон коллизии с повышенными  $K_2O/Na_2O$  отношениями ( $\geq 0.8$ ) является дискуссионным.

**Обсуждение результатов.** Изложенные новые данные по адакитовому магматизму Армении и обобщенные литературные данные позволяют сделать вывод о наличии адакитового магматизма в регионе в промежутке от верхнего палеоцена – ижнего эоцена (в восточных Понтидах [18]), до плиоцена включительно (Цахкуняцкий хребет, Армения).

Касаясь высказанной ранее точки зрения о наличии адакитового компонента в коллизионных магмах Армении [6, 22, 23], важно отметить, что диаграмма  $Sr/Y$  vs  $(Yb/La)_N$  (рис. 2), показывающая поле составов адакитов региона и изучаемых адакитов Армении, чётко демонстрирует расположение кислых и средних по составу лав Арагаца на линии смешения магм между долеритовыми платобазальтами и полем региональных адакитов. Это в свою очередь свидетельствует об участии адакитового компонента при формировании коллизионных магм среднего и кислого состава.

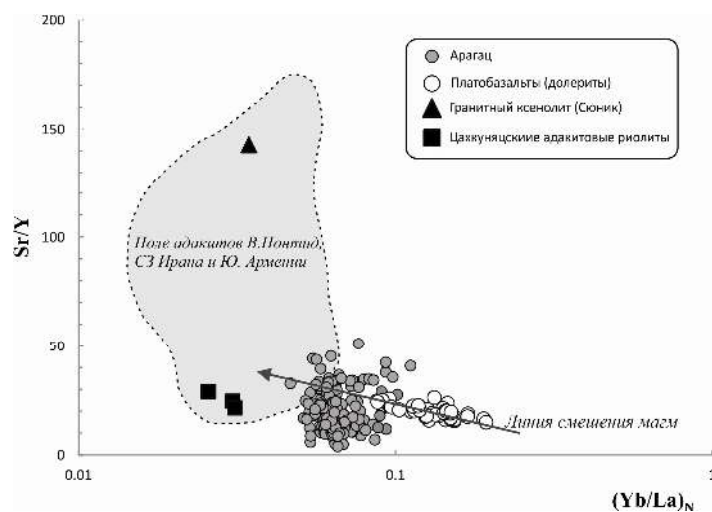


Рис. 2. Диаграмма  $Sr/Y$  vs.  $(Yb/La)_N$ , показывающая изучаемые адакиты Армении в поле региональных адакитов по данным [5,18-21] и расположение Арагацских кислых и средних эффузивов по [6], на линии смешения магм между долеритовыми платобазальтами по [34] и адакитами.

Долеритовые платобазальты выбраны как один из возможных конечных компонентов исходя из их мантийного происхождения [34] и наиболее низких  $La/Yb$  отношений и концентраций LIL элементов.

Аналогичный вывод можно сделать по спайдер-диаграмме (рис. 3), где поле составов лав Арагаца полностью расположено между двумя конечными компонентами – долеритами, с плавным распределением несов-

местимых элементов, и адакитами Цахкуняца, с резким обогащением легкоплавкими элементами относительно тугоплавких в ряду несовместимости.

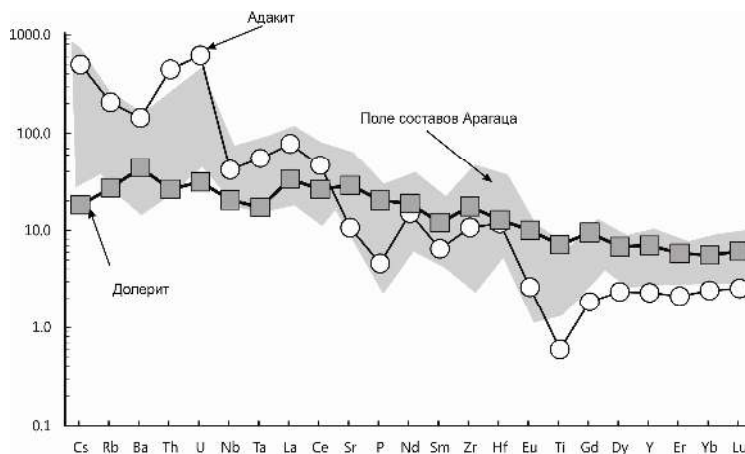


Рис. 3. Спайдер-диаграмма нормированных к составу примитивной мантии [36] составов конечных компонентов (end members) смешения магм: Цахкуняцкого адакита и платобазальта (долерита) центральной Армении по [34], в сравнении с полем составов коллизионных магм Арагаца по [6].

Касательно геодинамической интерпретации коллизионных адакитов следует отметить, что наличие адакитов может быть геодинамическим индикатором утолщения коры, орогенного коллапса или литосферной деляминации [7]. Для адакитов региона имеются следующие геодинамические модели: утолщение и деляминация нижней континентальной коры в раннем эоцене для Понтид [18]; образование окна в слэбе (slab window process) в раннем эоцене для Понтид [19]; утолщение коры дуги типа АКО Урмия-Дохгар [9]; орогенного коллапса (tectonic collapse) в пределах южного Тибета (террейн Лхаса) [8]; отрыв слэба и образование расплавов адакитового типа при плавлении верхней мантии, метасоматизированной флюидами слэба в пределах Тибета [35]; плавление утолщенной мафической нижней коры для миоценовых адакитов Восточно-Понтийского хребта [20]. Касательно применимости моделей для изучаемых адакитов Армении представляется, что для гранитов, обнаруженных в виде ксенолитов в продуктах извержения вулкана Гарусар, по всей видимости, применимы модель, предложенная для адакитовых гранитоидов Мегринского плутона нижнекорового происхождения [21], и близкая интерпретация, предложенная для генезиса адакитовых гранитоидов СЗ Ирана и южной Армении [9].

В случае с адакитами Цахкуняца модель плавления метабазитовых пород в нижней коре вследствие орогенного утолщения континентальной коры представляется наиболее реалистичной, аналогично модели, предложенной для миоценовых адакитов восточных Понтид [20].

При этом отсутствие изотопных данных Nd и Pb не позволяет идентифицировать метабазитовый субстрат как островодужный, океанический или континентально-нижнекорový. Тем не менее, имеющиеся данные по изотопам стронция адакитов Цахкуняцкого хребта позволяют исключить древнюю нижнюю континентальные кору Южно-Армянского блока (предположительно древнюю и радиогенную), поскольку изотопный состав стронция в адакитах в этом случае был бы более радиогенным.

**Выводы.** В истории эволюции магматизма Анатолийско-Армяно-Иранского орогенного плато имеется адакитовый магматизм как на стадии АКО в эоцене и олигоцен–миоцене, так и на постколлизийной стадии в позднем миоцене – плиоцене.

Изучаемые адакиты Армении могут быть условно охарактеризованы как «континентальные» низкомагнезиальные и высококремнеземистые адакиты, образованные при плавлении относительно молодого метабазитового субстрата в нижней коре. При этом состав и геодинамическое состояние фрагментов базитовой нижней коры, подвергшейся плавлению, остаются неясными и могут иметь как дуговую, так и океаническую природу, а гипотетическая древняя нижняя кора Южно-Армянского блока может быть исключена из списка возможных нижнекорových субстратов исходя из имеющихся изотопно-стронциевых характеристик.

Изучаемые адакиты Армении находятся в тесной пространственной (Гарусар) и пространственно-временной (Цахкуняцкий хребет) ассоциации с плиоцен-четвертичными постколлизийными магмами Армении и исходя из анализа геохимических данных могут являться конечными членами при смешении мантийных основных и кислых адакитовых магм, с которым связан большой объем продуктов кислого и среднего вулканизма зоны Аравийской коллизии.

Институт геологических наук НАН РА  
e-mail: km@geology.am

**Х. Б. Меликсетян**

### **Проявление адакитов в составе плиоцен-четвертичного коллизийного магматизма Армении**

Рассмотрены геохимия и изотопия плиоценовых адакитовых риолитов Цахкуняцкого хребта в центральной Армении и адакитовых гранитных ксенолитов из продуктов извержения четвертичного вулкана Гарусар, на Сюникском нагорье в южной Армении. Показано, что изучаемые адакиты, имеющие тесную пространственно-временную связь с коллизийными магмами, могли быть конечными компонентами в системе смешения мантийных и корových расплавов при образовании большого объема кислого и среднего состава вулканизма Арагаца и других вулканических областей Армении.



## Խ. Բ. Մելիքսեթյան

### Ադակիտների հայտնաբերումը Հայաստանի պլիոցեն-չորրորդական կոլիզիոն մագմատիզմի կազմում

Քննարկվում են Կենտրոնական Հայաստանի Ծաղկունյաց լեռնաշղթայի պլիոցենի հասակի ադակիտային ռիոլիտների և Հարավային Հայաստանի Սյունիքի բարձրավանդակի չորրորդական հասակի Գարուսար հրաբխի ժայթքման արգասիքներում հայտնաբերված ադակիտային գրանիտային քսենոլիտների երկրաքիմիական և իզոտոպային առանձնահատկությունները: Ցույց է տրված, որ ուսումնասիրված ադակիտները, որոնք տարածաժամանակային սերտ կապ ունեն կոլիզիոն մագմատիզմի հետ, կարող են լինել մանթիական և կեղևային հալոցքների խառնման համակարգի եզրային բաղադրիչները Արագածի և Հայաստանի այլ հրաբխային մարզերի մեծ ծավալի թթու և միջին կազմի հրաբխականության ձևավորման ժամանակ:

## Kh. B. Meliksetian

### Discovery of Adakites within the Pliocene-Quaternary Collisional Magmatism in Armenia

Geochemistry and isotopy of adakitic rhyolites of Tsakhkunyats ridge and adakitic granitic xenoliths found in eruption products of Garusar volcano within Syunik volcanic upland in south Armenia is discussed. It is demonstrated, that the studied adakites exhibit close spatial-temporal links with collisional magmas and may represent end members in mixing of crustal and mantle derived melts in origin of voluminous intermediate to acid volcanism of Aragats volcano and other volcanic provinces of Armenia.

## Литература

1. *Defant M.J., Drummond M.S.* - Nature. 1990. V. 347. P. 662–665.
2. *Samaniego P., Martin H., Robin C., Monzier M.* - Geology. 2002. V. 30. P. 967–970.
3. *Castillo P.R.* - Chinese Science Bulletin. 2006. V. 51. P. 257–268.
4. *Ma Q., J-P. Zheng, Y-G. Xu, W.L. Griffin, R-S. Zhang.* - Earth and Planetary Science Letters. 2015. V. 419. P.125-133.
5. *Azizi H., Asahara Y., Tsuboi M., Takemura K., Razyani S.* - Chemie der Erde – Geochemistry. 2014. V. 74. N 1. P. 87-97.
6. *Меликсетян, Х.Б.* - Изв. НАН РА, Науки о Земле. 2012. Т. 65 N 3. С. 34-59.
7. *Chung S.L., Liu D.Y., Ji J.Q., Chu M.F., Lee H.Y., Wen D.J., Lo C.H., Lee T.Y., Qian Q., Zhang Q.* - Geology. 2003. V. 31. P. 1021–1024.
8. *Guo Z., Wilson M., Jiaqi Liu J.* - Lithos., 2007. V. 96, P. 205–224.
9. *Chiu H-Y., Chung S-L., Zarrinkoub M. H., Mohammadi S.S., Khatib, M.M., Iizuka Y.* - Lithos, 2013. V.162–163. P. 70-87.
10. *Martin H., Smithies R.H., Rapp R., Moyen J.F., Champion D.* - Lithos. 2005. V. 79. P.1–24.
11. *Defant M.J., Kepezhinskas* - P. EOS, Transactions of the American Geophysical Union. 2001. V. 82. P. 62–70.
12. *Mungall J.E.* - Geology. 2002. V. 30. P. 915–918.

13. *Oyarzún R., Márquez A., Lillo J., López I., Rivera S.* - Mineralium Deposita. 2001. V. 36, P. 794–798.
14. *Sajona F.G., Maury R.C.* - Comptes Rendus de l'Académie des Sciences. Paris. 1998. V. 326. P. 27–34.
15. *Thiéblemont D., Stein G., Lescuyer J.L.* - Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris. 1997. V. 325. P. 103–109.
16. *Dreher S.T., Macpherson C.G., Pearson D.G., Davidson J.P.* - Geology, 2005. V. 33, P. 957-960.
17. *Woods A.W., Cowan A.,* - Earth and Planetary Science Letters. 2009. V. 288. P. 132–137.
18. *Karsli O., Dokuz A., Uysal I., Aydin F., Kandemir R., Wijbrans J.* - Lithos. 2010. V. 114. P. 109–120.
19. *Eyuboglu Y., Santosh M., Chung S.L.* - Lithos. 2011. V. 121, P.151–166.
20. *Eyuboglu Y., Santosh M., Yi K., Bektaş O., Kwon S.* - Lithos. 2012. V.146–147, P.218-232.
21. *Меликсетян Б. М.* – Петрология, геохимия и рудоносность палеоген-неогеновых вулкано-интрузивных формаций Малого Кавказа. Автореф. докт. дис. 1989. Тбилиси. 54 с.
22. *Nikogosian I., Meliksetian Kh, van Bergen M., Mason P., Navasardyan G.,* - Mineralogical Magazine. 2013. V. 77. N 5. P. 1850.
23. *Nikoghosyan I., Meliksetian Kh, van Bergen M., Mason P., Jrbashyan R., Navasardyan G., Ghukasyan Y., Melkonyan R., Karapetyan S.* - Geophysical Research Abstracts. 2014. V. 16. EGU-2014-2262.
24. *Karapetian S. G., Jrbashian R. T., Mnatsakanian A. Kh.* - Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2001. V. 112. P.189-220.
25. *Багдасарян Г. П.* -Изв. АН АрмССР. Науки о Земле. 1975. Т. 28. N 6. С. 70-83.
26. *Badalyan R., Bigazzi G., Cauvin, M.-C. Chataigner C., Jrbashyan R., Karapetyan S. G., Oddone M., Poidevin J.-L.* Radiation Measurements. 2001.V. 34. P. 373–378.
27. Каталог верхнеплиоцен-четвертичных вулканов Армянской ССР. // *Гужасян Ю. Г., Карапетян К. И., Карапетян С. Г., Нагапетян Л. Б., Харазян Э. Х., Ширинян К. Г.* // Фонды ИГН АН Арм. ССР. Ереван. 1978. Т. 3. 283 с.
28. *Castillo P. R.* - Lithos. 2012. V. 134–135. P. 304–316.
29. *Rolland Y., Galoyan G., Bosch D., Sosson M., Corsini M., Fornari M., Verati C.* - Lithos. 2009. V. 112. P. 163–187.
30. *Parlak O., Çolakoglu A., Dönmez C., Sayak H., Yildirim N., Türkel A., Odabasi I.* - Geological Society, London, Special Publications. 2013. V. 372. P. 75-105.
31. *Çelik Ö. F., Chiaradia M., Marzoli A., Billor Z., Marschik R.* - Lithos. V. 172–173. P. 31-46.
32. *Hassanipak A. A., Ghazi A.M* - Journal of Asian Earth Sciences. 2000. V. 18. P. 109-121.
33. *Khalatbari-Jafari M., Juteau T., Cotton J.* - Journal of Asian Earth Sciences. 2006. V. 27. P. 465–502.
34. *Neill I., Meliksetian Kh., Allen M.B., Navasardyan G., Kuiper K.* - Chemical Geology. 2015. V. 403. P. 24-41.
35. *Gao S., Rudnick R.L., Yuan H.L., Liu X. M., Liu Y.S., Xu W.L., Lin W.L., Ayerss J., Wang X.C., Wang Q.H.* – Nature. 2007. V. 432. P. 892–897.
36. *Sun S.-S., McDonough W.F.* - Geological Society of London Special Publication. 1989. V. 42. P. 313-345.