

**ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ
ԱԿԱԴԵՄԻԱ**

ԵՐԿՐԱՐԱՆԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ

Մելիքսեթյան Խաչատուր Բորիսի

**ԿՈՒԼԻԶԻՈՆ ՄԱԳՄԱՆԵՐԻ ԱՌԱՋԱՅՈՒՄԸ ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՏԱՐԱԾՔԻ
ՉՈՐՐՈՐԴԱԿԱՆ ՀՐԱՐԽԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՕՐԻՆԱԿՈՎ ԵՎ ՀՐԱՐԽԱՅԻՆ
ՎՏԱՆԳԸ**

ԻԴ.01.01 - Ընդհանուր երկրաբանություն մասնագիտությամբ երկրաբանական
գիտությունների դոկտորի գիտական աստիճանի հայցման համար
ատենախոսության

ՍԵՂՄԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ – 2018

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК**

Меликсетян Хачатур Борисович

**ГЕНЕРАЦИЯ КОЛЛИЗИОННЫХ МАГМ НА ПРИМЕРЕ ЧЕТВЕРТИЧНОГО
ВУЛКАНИЗМА ТЕРРИТОРИИ АРМЕНИИ И ВУЛКАНИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени доктора геологических наук по
специальности 24.01.01. “Общая геология”

ЕРЕВАН- 2018

Ատենախոսության թեման հաստատվել է ՀՀ ԳԱԱ Երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտում

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ. Ե.-հ.գ.դ. Ա.Ն. Նազարեթյան, ՀՀ ԱԻՆ «Սեյսմիկ պաշտպանության տարածքային ծառայություն» ՊՈԱԿ, Հյուսիսային տարածաշրջանային կենտրոն, ք.Գյումրի
Ե.գ.դ. Ա.Վ. Օրբոցավարիձե, Իլիայի Պետական Համալսարան, Թբիլիսի, Վրաստան:
Ե.-հ.գ.դ. Ի.Ս. Պերետյաժկո, Ռ-Դ ԳԱ Սիբիրյան բաժանմունքի Ա.Պ. Վինոգրադովի անվան երկրաքիմիայի ինստիտուտ, Իրկուտսկ:

Առաջատար կազմակերպություն. Ռ-Դ ԳԱ Հեռավոր Արևելյան բաժանմունքի Հրաբխագիտության և սեյսմոլոգիայի ինստիտուտ, Կամչատկայի Պետրոպավլովսկ:

Պաշտպանությունը տեղի կունենա 28 հունիսի 2018թ. ժամը 12.00-ին. ՀՀ ԳԱԱ Երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտի թ.054 Մասնագիտական խորհրդի նիստում: Հասցեն՝ 0019, Երևան, Մարշալ Բաղդամյան պ, 24ա:

Ատենախոսության հետ կարելի է ծանոթանալ ՀՀ ԳԱԱ ԵԳԻ գրադարանում.

Սեղմագիրն առաքվել է 25 մայիսի 2018թ.:

Թիվ 054 մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար

Ե.-հ.գ.թ.

Հ.Վ. Շահինյան

Тема диссертации утверждена в Институте геологических наук НАН РА

Официальные оппоненты: Ժ.գ.-մ.ն. Ս.Ն. Նազարեթյան, "Региональная служба сейсмической защиты" ГНКО, Северный территориальный центр, г.Гюмри, МЧС Республики Армения.

Ժ.գ.-մ.ն. Ա.Վ. Օրոսցվարիձե, Государственный университет Илии, Тбилиси, Республика Грузия.

Ժ.գ.-մ.ն. Ի.Ս. Սերետյաժկո, Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Иркутск, Российская Федерация.

Ведущая организация: Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Российская Федерация.

Защита состоится "28" июня 2018 г. в 12.00 часов на заседании Специализированного совета 054 Института геологических наук НАН РА, по адресу: 0019, Ереван, пр. Маршала Баграмяна, 24^а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИГН НАН РА.

Автореферат разослан "25" мая 2018 г.

Ученый секретарь специализированного Совета 054,

к.г.-м.н.

Г.В. Шагинян

*Посвящается светлой памяти моих родителей
д.г.-м.н. Б.М. Меликсетяна (1928-1992) и к.г.-м.н. А.Х. Мнацаканян (1936-2013),
неутомимых исследователей геологии, магматизма и вулканизма Армении*

ВВЕДЕНИЕ

Вулканизм является поверхностным проявлением высокой температуры внутренних оболочек Земли и процессов, связанных с переносом этого тепла и вещества из глубин на поверхность. При возникновении различных геодинамических трансформаций, таких как рифтинг, субдукция или коллизия, может происходить частичное плавление в верхней мантии или земной коре, которое в совокупности с повышенной проницаемостью коры приводит к подъему магм на поверхность и возникновению эффузивных и эксплозивных вулканических извержений.

Изучению особенностей генерации магм, созданию петрогенетических и вулканотектонических моделей в пределах островных дуг, срединно-океанических хребтов, континентальных рифтов и океанических островов посвящены многочисленные научные исследования. В то же время, относительно причин возникновения масштабного и продолжительного магматизма в зонах континентальной коллизии (таких как Армянское нагорье, Тибет и др.) единое мнение не сформировано. Именно по этой причине, в последние десятилетия коллизионный вулканизм привлекает внимание многих исследователей, поскольку отличается целым рядом специфических особенностей от вулканизма других геодинамических обстановок. Как отмечено в работе (Pearce, 2014), в долгосрочной перспективе субдукционный вулканизм сменяется коллизионным, который в свою очередь переходит в континентальный-внутриплитный. То есть геохимические особенности коллизионного вулканизма являются индикаторами смены геодинамических обстановок, дополняя наши знания о природе вулканической активности и ее эволюции во времени и в пространстве в целом.

Важной особенностью коллизионного вулканизма является приуроченность ареалов вулканизма к тем или иным тектоническим зонам растяжения в условиях коллизионного плато, так как без наличия локальных структур растяжения не может быть достигнута степень проницаемости коры необходимая для формирования как моногенных (ареальных) вулканических кластеров, так и крупных стратовулканов.

В данной работе на основе всестороннего анализа новых геологических, геохимических и вулканологических исследований, изотопных датировок методами $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ и unspiked K-Ar, а также обобщения современных результатов литературных, вулканологических, геотектонических, геохимических и геофизических исследований

предложена модель генерации магм в зоне Аравийской континентальной коллизии на примере четвертичного вулканизма Армении.

Новые данные по геохимии и изотопии коллизионного вулканизма Армении позволяют выявить ряд проблем в существующих концепциях относительно формирования континентальной коры и геохимически охарактеризовать роль коллизионного вулканизма в ее становлении. Кроме того, геохимические особенности вулканизма в зонах коллизии позволяют также оценить мощность континентальной коры в зонах коллизии, в данной работе впервые показано резкое увеличение мощности коры в пределах северо-восточной части зоны коллизии с севера на юг, от Джавахетского нагорья до СВ Ирана.

За всю историю человечества велико было внимание общества к природным опасностям, таким как землетрясения, извержения вулканов, цунами, оползни. Несмотря на то, что сильные и катастрофические вулканические извержения ($VEI \geq 5$) характеризуются существенно меньшей частотой повторяемости в сравнении с сильными землетрясениями, как в древней, так и в новейшей истории известны многочисленные вулканические катастрофы, приводившие нередко к тысячам и даже к десяткам тысяч человеческих жертв и к радикальным изменениям климата. В настоящее время, во многих регионах мира, в связи с урбанизацией, ростом численности населения и расширением инфраструктуры, уязвимость человечества перед природными катаклизмами неуклонно возрастает. Важно отметить, что зачастую, последствия природных катаклизмов не ограничиваются их непосредственным воздействием на население, но могут вызвать серьезные сопряженные техногенные катастрофы. В данной работе приведены результаты работ автора и его коллег в области вероятностной оценки вулканической опасности густонаселенной Араратской долины и района Армянской атомной электростанции, стратегически важного объекта инфраструктуры.

Вулканизм и его продукты играли значительную роль в развитии Земли и эволюции жизни и часто имели катастрофическое воздействие на климат. В частности, считается, что в плиоцен-четвертичное время, которое характеризуется чередованием ледниковых периодов и потеплений, вулканизм неоднократно оказывал кардинальное воздействие на климат способствуя миграции человека и его предков в поисках более благоприятных территорий для жизни.

В конце среднего- начале позднего палеолита (≈ 400 Ка), начинается утилизация и интенсивное использование большого количества обсидиана из риолитовых вулканов Армении и Армянского нагорья, при этом использование обсидиана для производства орудий продолжалось вплоть до раннего средневековья (Badalyan, 2010). Геохимические особенности обсидиана позволяют достаточно достоверно

идентифицировать происхождение обсидиановых орудий, найденных в пределах археологических поселений, в том числе удаленных от источников обсидиана, что позволяет восстановить пути доисторической миграции и контакты. В данной работе приводится: полная геохимическая характеристика обсидиана Малого Кавказа на основе исследований автора по геохимии геологических образцов, а также археологических обсидианов Армении, Грузии, Азербайджана, южной России (Дагестан), Ирана и Турции и их привязки к тем или иным геологическим источникам обсидиана (риолитовым вулканам) Армянского нагорья. Для этой цели разработана инновационная методика геохимической типизации обсидиана Армянского нагорья, позволяющая идентифицировать геологические источники обсидиановых артефактов, в том числе тех, которые ранее считались неизвестными.

1. Научная новизна и актуальность работы

Изученные автором вулканические комплексы формировались в сложных геодинамических обстановках, связанных с коллизией Аравийской плиты и Евразийской окраины. Несмотря на то, что проблемы эволюции вулканизма в зонах континентальной коллизии изучаются достаточно давно, тем не менее, наличествует целый ряд “белых пятен” в наших знаниях о механизме генерации магм в зонах коллизии и причинах возникновения вулканизма на огромной территории Анатолийско-Армяно-Иранского коллизионного плато (свыше 1.5 млн. км²). В работе, на примере четвертичного вулканизма Армении и сопредельных территорий сделана попытка восполнить ряд важных пробелов в изучении коллизионного вулканизма. Рассматриваются актуальные проблемы современной вулканологии, геохимии и петрологии:

- 1) петрогенезис вулканических серий, приуроченных к зонам коллизии;
- 2) геохимическая типизация вулканических серий и геодинамическая интерпретация полученных данных;
- 3) впервые вулканизм Армении рассматривается с позиций физической вулканологии, даются оценки вязкости лавовых потоков, объяснен механизм образования нетипичных протяженных лавовых потоков риолитового и трахидацитового составов, рассматриваются физические механизмы и триггеры возникновения плинианских извержений на примере некоторых вулканов Армении.
- 4) впервые проведено детальное минералого-геохимическое исследование ликвидусного оливин-хромшпинелевого парагенезиса коллизионных магм Армении, охарактеризованы мантийные источники магм;
- 5) впервые проводится изучение связи и характера коллизионного вулканизма Армении с составом и структурой литосферы, и низлежащей мантии, мощностью коры;

б) впервые установлен механизм и участие мантийных (литосферных и астеносферных) и нижнекорových (адакитовых) компонентов в формировании коллизионных вулканических комплексов;

7) Впервые на основе геохимических данных оценена глубина залегания поверхности Мохо в пределах северо-восточной части зоны коллизии увеличивающаяся с севера на юг, от Ахалкалакского плато до СВ Ирана;

8) впервые обсуждаются геохронологические аспекты инициации пост-коллизионного вулканизма в регионе Южного Кавказа и его латеральная зональность, связанная с растянутым во времени и пространстве механизмом отрыва слэба.

Указанные исследования представляются очень важным для разработки общей концепции геодинамической и магматической эволюции в зонах коллизии в целом. В работе приведены новые данные по геохимии, изотопии Sr, Nd, Hf, Pb четвертичных пород Джавахетского нагорья, Лорийского и Котайкского плато, Арагацской вулканической области, Варденисского и Сюникского вулканических нагорий и Капанского блока.

Важно отметить в данной работе впервые приводится геохимическая оценка существенного и недооцененного вклада коллизионного магматизма в формирование континентальной коры Анатолийско-Армяно-Иранского орогенного плато, вопреки классической модели (Taylor, 1977), связывающей формирование континентальной коры исключительно с магматизмом зон субдукции.

В работе больше внимание уделено прикладным аспектам вулканологии, связанным с вероятностной оценкой потенциальной вулканической опасности для густонаселенной Араратской долины Армении и района Армянской атомной станции.

В работе обсуждаются результаты новых, сформировавшиеся на стыке вулканологии, геохимии и археологии прикладных исследований доисторического использования и межрегионального распространения обсидиана. Данные полученные в результате указанных геоархеологических исследований позволили провести детальную геохимическую типизацию риолитов Армении и впервые выделить в них адакитовые составы, которые являются конечными членами в ряду смешения магм при формировании большого объема кислых и средних по составу четвертичных магм зоны коллизии.

2. Цель и задачи исследований

Основная цель настоящей работы состоит в выявлении механизма генерации магм в пределах возвышенных коллизионных плато на примере четвертичного вулканизма Армении и создание концептуальной модели вулканизма региона Малого Кавказа и Армянского нагорья. В связи с поставленной целью решались следующие задачи:

1) выявление изотопно-геохимических характеристик продуктов коллизионного вулканизма Малого Кавказа, как части Анатолийско-Армяно-Иранского орогенного плато; 2) создание петрогенетической и геодинамической модели четвертичного вулканизма Анатолийско-Армяно-Иранского плато на основе анализа новых и литературных изотопно-геохимических, минералогических и геофизических данных; 3) выявление литосферных и/или астеносферных мантийных источников магм, и путей дальнейшей их эволюции - кристаллизационной дифференциации или смешения магм в пределах различных вулканических кластеров Малого Кавказа (Джавахетский хребет, Арагац, Гегам, Варденис, Сюник, Капан); 4) изучение пространственной плотности распределения вулканических центров в пределах Малого Кавказа и сопредельных территорий; 5) изучение геохронологии вулканизма и его связи с геодинамикой во времени.

3. Фактический материал, методика и объем исследований

Основу данной работы составляют результаты полевых и лабораторных исследований автора с 2000 по 2018 годы включительно. Лабораторным исследованиям подвергнуты как собственные образцы пород, отобранные в Армении и Грузии, так и образцы, любезно предоставленные коллегами Р.Т. Джрбашяном, С.Г. Карапетяном, Ю.Г. Гукасяном, Г.Х. Навасардяном, И. Савовым, Р.С. Бадаляном, Б.З. Гаспаряном.

Все аналитические исследования, использованные в данной работе, выполнены в ведущих аналитических и геохронологических лабораториях университетов Великобритании, Нидерландов, США, Германии и Франции в рамках международных исследовательских проектов.

В работе использованы также многочисленные литературные данные по вулканизму Малого Кавказа, Армянского нагорья, и сопредельным территориям Анатолийско-Армяно-Иранского плато. Исследования включали: 1) полевые вулканологические изыскания и участие в работах по уточнению геолого-вулканологических карт; 2) петрографическое и петрохимическое изучение образцов пород; 3) Sr, Nd, Pb, Hf изотопные и детальные геохимические исследования образцов; 4) микро-зондовые определения составов оливинов и хромшпинелевых включений в них; 5) определение составов расплавных включений в оливинах; 6) интерпретация полученных данных с использованием современных вулканологических, петрологических, геохимических, минералогических, физико-химических представлений при помощи статистических и математических методов и с применением современной компьютерной техники. В общей сложности в работе использованы анализы 534 образцов вулканических пород, от базанитов до риолитов,

проанализированных комбинацией рентгено-флуоресцентного, ICP-MS, ICP-OES анализов.

В работе использованы также 107 определений отношений изотопов стронция ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$), 75 определений изотопных отношений неодимия $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, 20 определений изотопных отношений свинца $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, 20 определений изотопных отношений гафния $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$, при этом, заслуживает упоминания, что изотопы гафния в изучении магматизма Армении использованы впервые.

В работе обобщена также обширная геохимическая база данных автора по 154 геологическим и 534 археологическим образцам обсидиана проанализированных инструментальным нейтроноактивационным анализом (ИНАА).

С целью определения возраста ключевых образцов вулканических комплексов Армении в общей сложности были датированы 29 образцов методом $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ и 22 образца методом unspiked K-Ar в геохронологических лабораториях исследовательских центров Японии, США, Нидерландов и Франции.

Диссертационная работа состоит из 317 страниц и включает введение, шесть глав, заключение и список литературы, состоящий из 370 наименований. В работе содержится 136 рисунков и 21 таблица. Основная часть фактического материала суммирована в приложениях на 177 страницах (Приложения 1,2,3, включающие 1 карту, 6 таблиц и 23 рисунка).

4. Апробация работы

По теме диссертации автором опубликованы 21 статья и 2 монографии. Статьи опубликованы в том числе в зарубежных журналах (Journal of Volcanology and Geothermal Research, Lithos, Chemical Geology, Journal of Archaeological science, Journal of Applied Volcanology); в зарубежных рецензируемых сборниках; в рецензируемых журналах НАН Армении (Известия НАН РА Науки о Земле, Доклады НАН РА); за рубежом опубликованы 2 монографии по вулканической опасности в официальных публикациях подразделений ООН: GAR15, The United Nations office for Disaster Reduction, UNISDR; TECDOC, International Atomic Energy Agency, IAEA, (МАГАТЭ).

Результаты научных изысканий автора были представлены в виде 29-и устных и стендовых докладов на международных конференциях и семинарах, в том числе: American Geophysical Union, (AGU, 2012, San-Francisco, USA), European Geosciences Union (EGU, 2012, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 Vienna, Austria), Goldschmidt, (2013, Prague, Czech Republic), International Symposium on Archaeometry (ISA-2010, Tampa, Florida, USA), Международной комиссии по истории геологии (INHIGEO, Beijing, 2015 и Yerevan, 2017) и др.

Помимо публикаций и участия в конференциях основные положения работы неоднократно докладывались автором на приглашенных лекциях в США, Австрии, Китае, Филиппинах и заседаниях Ученого Совета ИГН в течение 2012-2017 гг.

5. Практическое значение работы

Диссертационная работа содержит данные, по вероятностной оценке вулканической опасности площадки Армянской Атомной электростанции и для инфраструктуры густонаселенной Араратской долины. Автором в сотрудничестве с университетом Южной Флориды были разработаны инструменты для компьютерного моделирования и вероятностной оценки опасности затопления критически важных территорий и объектов инфраструктуры лавовыми потоками (Connor et al., 2012).

Геохимические данные по обсидианам Армении и южной Грузии полученные автором в рамках настоящей работы были использованы для решения прикладных археологических задач. Автором разработана и применена инновационная методика геохимической типизации обсидиана Армянского нагорья, позволяющая идентифицировать геологические источники археологических обсидиановых артефактов, в том числе тех, которые ранее считались неизвестными.

Продукты вулканических извержений, такие как пемзы, шлаки, перлиты, туфы, базальты широко используются в Армении качестве строительных материалов, наполнителей бетона, теплоизоляционных и декоративных материалов. Большой объем геохимических данных по вулканическим породам Армении позволит оценить безопасность их использования в качестве строительных материалов. В частности, полученные автором данные по содержанию урана и тория в риолитах Армении ($Th=13.4-38.2$ г/т; $U=3.2-17.6$ г/т) диктуют необходимость изучения целесообразности и безопасности использования риолитового сырья в качестве наполнителя бетона.

Интенсивная, зачастую варварская эксплуатация месторождений вулканического сырья в Армении приводит к серьезным экологическим проблемам, таким как образование больших количеств отходов и отвалов (в частности туфовых). Полученные автором геохимические и минералогические данные могут служить основой для изучения потенциала использования отходов в качестве химического сырья для производства специальных марок цементов, а также керамики, каменного литья и др.

6. Основные защищаемые положения

1. Верхнеплиоцен-нижнечетвертичный долерит-трахибазальтовый вулканизм Малого Кавказа, включающий Ахалкалакское, Лорийское, Котайкское и часть Карс-Эрзерумского плато, несет в себе геологические черты плато-базальтового вулканизма

и выделяется нами как наиболее молодая и небольшая плато-базальтовая провинция Земли безотносительно от тектонических условий.

2. Долерит-трахибазальтовый вулканизм Малого Кавказа является результатом частичного плавления шпинелевых фаций малых и средних степеней (<5%) субдукционно-модифицированного литосферного мантийного источника и не демонстрирует свидетельств значительной коровой контаминации или смешения магм и представляет собой один из мантийных источников коллизионного вулканизма региона («долеритовый» литосферный мантийный источник).

3. Причиной возникновения масштабного плато-базальтового магматизма к северу от Амасия-Севано-Акеринской сутуры может быть помимо отрыва южного слэба, (модель Keskin et al., 1998) также отрыв северного, Понтийского слэба в позднем миоцене (Skolbeltsyn et al., 2014), вследствие которого произошел подъем горячей астеносферы и в пределах территории Армении и всей северной части Армянского нагорья, который явился триггером масштабного плавления литосферной мантии.

4. Геохимия исследованных вулканических серий Армении демонстрирует характеристики, связанные с обогащением мантийных источников вулканизма прошлыми субдукциями имевшими место в регионе. При этом в мантийных источниках вулканизма северной и центральной Армении (плато-базальты, Арагац, Гегам) наблюдается воздействие мезозойских субдукций, а на юге, (частично Ваденис, Сюник, Капан) наблюдается увеличение субдукционного компонента связанное с наложением воздействия более молодой Загросской субдукции.

5. Вулканизм среднего-кислого состава Арагацской вулканической провинции, Гегамского, части Ваденисского и Сюникского нагорья представляет собой результат смешения мантийных магм («долеритовый» литосферный мантийный источник) и кислых нижнекоровых «адакитовых» расплавов с наложением процессов кристаллизационной дифференциации.

6. Базальтовый и базанитовый вулканизм части Сюникского нагорья и Капанского блока тяготеет к метасоматизированным астеносферным мантийным источникам базанитовых магм Иранского Курдистана, обогащенного типа и выделяется нами как мантийный источник магм Капан-Сюник-II.

7. Глубина залегания поверхности Мохо увеличивается от 40 км. до значений свыше 100 км. в пределах СВ части Армянского нагорья в направлении с северо-запада на юго-восток: от Джавахетского хребта и Арагаца до Сюникского вулканического нагорья и СЗ Ирана. Эти данные указывают на наличие границы между участками утолщения коры и литосферной деламинации на границе Гегамского и Ваденисского вулканических нагорий.

8. В регионе Аравийской коллизии происходила латеральная миграция событий отрыва слэба и связанной инициации пост-коллизийного магматизма во времени, с северо-запада (11-10 Ма) на юго-восток (6 Ма), что можно объяснить существующей моделью латеральной миграции процесса отрыва слэба в зонах коллизии.

9. Наибольшую степень вулканической опасности для площадки Армянской АЭС имеет выпадение тefры вследствие возможного эксплозивного извержения вулкана Арарат, оцениваемое нами вероятностью в 10^{-5} - 10^{-6} в год.

7. Благодарности

Автор выражает искреннюю благодарность академику НАН РА Р.Т. Джрбашяну за неоценимую помощь и поддержку. Автор высоко ценит помощь коллег по лаборатории вулканологии ИГН к.г.н. Г.Х. Навасардяна, Р.П. Геворгян, Д.А. Манучаряна, А.Х. Минацакян, Э.С. Григоряна, к.г.м.н. Ю.Г. Гукасяна, к.г.м.н. С.Г. Карапетяна, зав. химической лабораторией ИГН к.х.н. А.С. Саакова, сотрудников института Археологии и Этнографии НАН РА д.и.н П.С. Аветисяна, д.и.н Р.С. Бадаляна, Б.З. Гаспаряна. Автор признателен коллегам по ИГН: члену-корреспонденту НАН РА Р.Л. Мелконяну, PhD Г.Л. Галояну, к.г.н. Л. Г. Саакян за полезные замечания, высказанные в ходе дискуссий и предварительных обсуждений работы на Ученом Совете ИГН. Выполнение данной работы не было бы возможным без неоценимой помощи и разносторонней поддержки, совместной работы и обсуждений с к.г.м.н. И.К. Никогосяном (университет Утрехта, Нидерланды) и помощи в проведении аналитических и вулканологических исследований со стороны доктора И. Савова (университет Лидса, Великобритания), проф. Ч.Коннора и Л. Коннор (Университет южной Флориды, США), док. Я. Нейлла (Университет Глазго, Великобритания) и профессора М. Аллена (Университет Дархема, Великобритания). Отдельная благодарность выражается директору ИГН в 2006-2017 гг. д.г.н А.С. Караханяну за постоянное внимание к работе, поддержку и обсуждение научных подходов и результатов работы.

ГЛАВА 1. ВУЛКАНО-ТЕКТОНИЧЕСКИЕ И ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЯВЛЕНИЯ ВУЛКАНИЗМА АРМЯНСКОГО НАГОРЬЯ

В данной главе дается обзор региональной вулканологии, геотектоники, истории геологического развития региона Малого Кавказа и в частности Армении, а также вулcano-тектонические аспекты проявления коллизийного вулканизма и результаты анализа пространственной плотности распределения вулканов Армении и сопредельных территорий. Территория Армении находится в СВ части Армянского

нагорья, Кавказского сегмента Альпийско-Гималайского пояса. Сложная геологическая структура региона представлена, в пределах относительно небольшой территории, мозаикой разнородных геотектонических блоков, соответствующих фрагментам островных дуг, континентальных плит и обдущированной океанической коры (офиолитов).

Магматическая активность в пределах различных тектонических единиц в пределах Армении и сопредельных территорий прослеживается с позднепалеозойского (?) времени до голоцена и исторического времени включительно и, исходя из этого, этот регион предоставляет исключительный интерес для понимания масштабных процессов генерации магм и эволюции вулканизма в пределах литологически разнообразных геологических блоков и геодинамических условий.

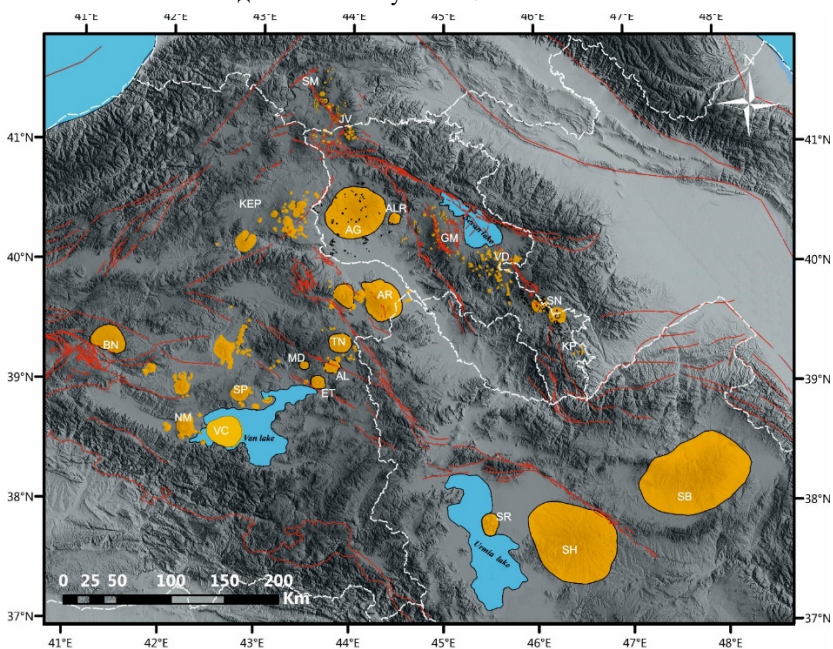


Рис 1. Распределение четвертичных вулканических центров и тектонические условия их проявления в пределах Армянского нагорья, СЗ Ирана и Кавказа. Вулканы, вулканические плато и нагорья: AG – Арагац; AL – Аладаг; ALR – Араилер; AR – Арарат; BN – Бингёл; EL – Эльбрус; ET – Этруск; GM – Гегамское вулканическое нагорье; КВО – группа вулканов Кабаргин-От; КЕР – Карс-Эрзерумское вулканическое плато; JV – Кечут-Джавахетское вулканическое плато; KZ – Казбек; MD – Мейдан-Даг; NM – Немрут; SB – Сабалан; SH – Сахенд; SM – Самсарский вулканический хребет; SN – Сюникское вулканическое нагорье; KP – Капанский вулканический ареал; SP – Сипан; TN – Тондрак (Тендурек); VD – Вардениское вулканическое нагорье; VC – Ванская Кальдера; SR – Сарай. Активные разломы по Karakhanyan et al., 2017.

В настоящее время вследствие продолжающегося движения Аравии на север сжатие сосредоточено на периферии орогенного плато в пределах Загроса, Большого Кавказа, Эльбурса и Копет-Дага, в то время как внутренняя часть орогенного плато, возвышенная на ~1-2 км над уровнем моря, подвержена деформациям вдоль сдвиговых разломов с величинами ≤ 2 мм/год (Karakhanyan et al. 2013).

В Армении и на соседних территориях выделяются три главные геотектонические единицы и два наложенных на них вулканических пояса, проявленных в результате глобальных геодинамических процессов.

Основные геотектонические единицы это – Южно-Армянский Блок (SAB), который, как считается, представляет собой фрагмент Гондваны (Kniprer & Khain, 1980) мезозойская островная дуга Малого Кавказа (LCMIA), считающаяся фрагментом региональной вулканической островной дуги Понтид-Малого Кавказа-Эльбурса (Лордкипанидзе, 1980, Мелконян, 1989), Амасия-Севано-Акеринская офиолитовая сутура (ASASZ), продолжающаяся на запад в офиолитовую сутуру Измир-Анкара-Эрзинджан (Kniprer & Khain, 1980, Асланян и Сатиан, 1987).

Поскольку SAB и LCMIA были «спаяны» после позднемиоценовой – раннепалеогеновой коллизии, маркируемой офиолитовой сутурой ASASZ, то более поздние проявления магматизма: палеогеновый, миоценовый и плиоцен-четвертичный вулканические пояса, уже были наложены на указанные геоструктурные единицы (террейны).

В результате континентальной коллизии Аравии и южной окраины Евразии на рубеже конца олигоцена-начала миоцена и последующего отрыва слэба (~15-11 Ma) сформировалось обширное Анатолийско-Армянско-Иранское орогенное возвышенное вулканическое плато, занимающее около 1.5×10^6 км² на территориях Анатолии, Армянского нагорья, южной Грузии и Иранского нагорья.

В пределах Армении и сопредельных территорий Турции и Грузии выделяются следующие кластеры плиоцен-четвертичного вулканизма: восточная часть Карсского плато, Джавахетская (Ахалкалакская) область, Арагацкая вулканическая провинция (АВП), Араратский вулканический комплекс, Гегамское вулканическое нагорье, Вардениское вулканическое нагорье, Сюникское вулканическое нагорье и Капанский вулканический ареал (Рис. 1).

На фоне продолжающегося сжатия в направлении ЮЮЗ-ССВ, внутренняя часть Анатолийско-Армянско-Иранского орогенного плато подвержена внутренним «компенсирующим» деформациям, которые происходят вдоль сдвиговых разломов. Сдвиговые деформации создают локальные структуры растяжения (тектонические дуги, pull-apart, horsetail splay) образующие тектонический контроль локализации ареальных (моногенных) указанных вулканических кластеров. Стратовулкан Арагац

локализован в центральной части тектонической дуги, образованной между Ахурянским разломом и сегментами Желтореченск-Сарикамышского, Гарнийского и Памбак-Севан-Сюникского разломов, а вулканический массив Арарат приурочен к осевой части Араратской котловины являющейся крупной вулcano-тектонической структурой, интерпретируемой как крупный pull-apart (Dewey et al, 1986).

Большая часть ареальных вулканических кластеров СВ части Армянского нагорья имеет СВ-ЮЗ и ССВ-ЮЮЗ простирание (Avagyan et al., 2005), близкое к перпендикулярному относительно основному направлению сжатия, вследствие перемещения Аравийской плиты на север-северо-восток.

Для четвертичного вулканизма Капанского блока установлена приуроченность вулканизма к разломам, параллельными Хуступ-Гиратахскому разлому, с которыми связаны, пять шлаковых конусов плейстоценового возраста в пределах Капанского блока.

Анализ пространственной плотности распределения вулканов позволяет отнести СВ часть Армянского нагорья к одному из наиболее плотных кластеров моногенного вулканизма на Земле, что связано с интенсивной генерацией магм в регионе и благоприятных условиях проявления вулканизма на поверхности, таких как высокая проницаемость коры и наличие зон локального растяжения связанных со сдвиговой тектоникой внутренних частей орогенного плато в зоне Аравийской коллизии. Установлено, что наибольшая степень локального растяжения и проницаемости коры для четвертичного времени характерна для центральной части Сюникского вулканического нагорья, далее в порядке убывания: для водораздельной части Гегамского нагорья, вулкана Арарат, восточной части Каресского плато, Ахалкалакского нагорья и вулкана Арагац.

ГЛАВА 2. ВУЛКАНО-СТРАТИГРАФИЯ ЧЕТВЕРТИЧНОГО ВУЛКАНИЗМА АРМЕНИИ И НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО ИЗОТОПНОМУ ДАТИРОВАНИЮ

Четвертичная история геологического развития Армении и Армянского нагорья отражает полный и хорошо сохранившийся образец вулканической провинции в зоне Аравийской континентальной коллизии. Хорошая обнаженность территории, сохранность вулканов и большая мощность вулканических образований, существование глубоких каньонов, вскрывающих вулканические разрезы, а также наличие данных по скважинам позволяют провести детальное исследование вопросов по стратиграфии вулканических образований плиоцен-четвертичного времени и оценить петролого-геохимическую эволюцию магмогенерации в зонах коллизии. Важной задачей данной главы является обзор вулканизма СВ части Армянского

нагорья, обсуждение физических особенностей проявления эффузивного и эксплозивного вулканизма, а также стратиграфии и $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ и unspiked K-Ar изотопной геохронологии вулканических образований Армении в свете новых данных по изотопному датированию.

Показано, что фундаментальной особенностью вулканизма Арагацской провинции является большой объем лавовых потоков трахиандезитового и трахидацитового состава с относительно высокой температурой извержения (eruption temperature) и как следствие относительно низкой вязкостью. Это относится как к вулканам на периферии Арагаца (Иринд, Цахкасар), так и к собственно Арагацу. Вследствие этого на Арагаце и его периферии сформировались протяженные трахидацитовые и трахиандезитовые лавовые потоки большой мощности (50-220 м), а сам вулкан имеет щитообразную форму.

Другой отличительной особенностью Арагацской вулканической провинции является наличие эксплозивных плинианских извержений с $\text{VEI} \geq 4$, характерных как для периферических центров (Иринд, Пемзашен) так и для собственно Арагаца (игнимбритобразующие извержения).

В работе впервые надежно датирован интервал активности Арагаца 1.53-0.48 Ма, уточнены возрастные интервалы выделенных более ранними исследованиями стадий вулканизма, показано отсутствие, выделенных ранее, интервалов покоя длительностью 200 Ка. Значительно расширена и детально датирована наиболее молодая, iv стадия вулканизма Арагаца, выделенная в пост-игнимбритовую стадию, куда включены помимо Аштаракского и Тиринкатарского потоков, также лавы и пирокласты вулканов Иринд, Цахкасар, Джрбажан, Какавасар, а также группа вулканов Дашгакар на Шамирамском плато, активность указанных вулканов приходится на временной интервал 0.61-0.48 Ма. Исходя из оценок объема вулканизма Арагацской вулканической провинции и временного интервала активности Арагаца около 1 млн. лет, впервые дается оценка времени, на протяжении которого вулкан извергал лаву и пирокласты - это около 0.15% времени от интервала активности, что характерно для стратовулканов по всему миру. Указанные расчеты позволяют также оценить среднюю величину объема извержений Арагаца в год, в течение интервала активности в 1 млн. лет (eruption rate per year) что составляет порядка 850 тыс. м³ в год.

Платобазальты северной Армении, южной Грузии, и СВ части Карского плато описаны нами как наиболее молодая и небольшая платобазальтовая провинция Земли, вне зависимости от тектонических условий (Sheth et al., 2015), с общим объемом базальтовых излияний не менее 2250 км³.

Суммируя обзор новых и имеющихся данных, вырисовывается следующая общая хронология вулканизма Джавахетского нагорья: формирование слабо

дифференцированных базальтовых серий (платобазальтов) в позднем плиоцене – раннем плейстоцене (Геласский ярус); формирование риолитовых, андезитовых и дацитовых вулканических серий Джавахетского хребта в раннем плейстоцене (конец геласского-калорийский ярус) в интервале ~1.92-1.22 Ма; после которого следует затишье в вулканической активности в регионе длительностью около 400-430 тыс. лет и дальнейшее возобновление вулканизма в пределах Самсарского хребта в интервале от среднего плейстоцена до голоцена включительно, (~800–0 Ка по данным Lebedev et al., 2003) и является следствием миграции магматической активности на северо-запад от Джавахетского хребта (Рис. 2).

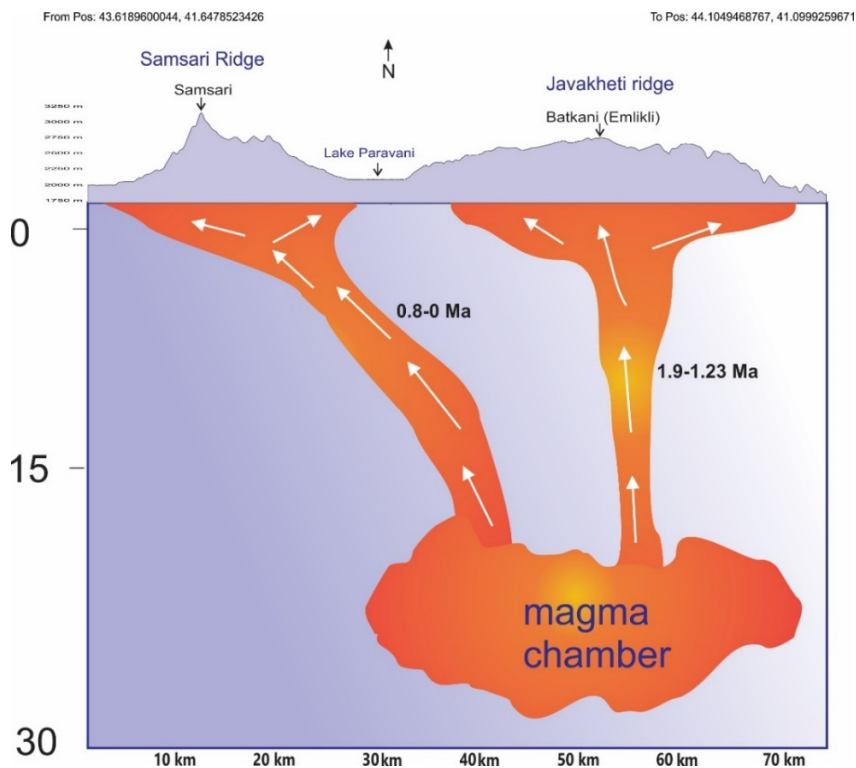


Рис. 2. Концептуальная модель ниже-плейстоцен-голоценового вулканизма Джавахетского нагорья, предполагающая наличие единого магматического очага в пределах Самсарского и Джавахетского нагорий. Согласно этой модели, вулканизм проявлялся в интервале 1.9-1.23 Ма на Джавахетском хребте, далее следует перерыв в вулканической деятельности, длившийся около 0.4 Ма и дальнейшее возобновление вулканизма в пределах соседнего Самсарского хребта, которое датируется около 0.800-0.700 Ма, и продолжается вплоть до голоцена, представляет собой миграцию магматической активности на северо-запад от Джавахетского хребта.

Новые датировки верхнеплейстоцен-голоценового вулканизма Вардениского нагорья и Вайоцзора позволили отнести активность вулкана Вайоцсар к концу верхнего плейстоцена 31.8 ± 2.8 Ка, а активность поздних генераций Поракского потока и Смбагасара отодвигают верхний предел вулканической активности на территории Армении к самому концу доисторического периода (Порак, 3.7 ± 4.2 Ка) и, по всей видимости, к началу исторического периода (Смбагасар, ≤ 2.9 Ка).

В главе обобщены литературные данные по геохронологии вулканизма Сюникского нагорья, приводится датировка образца автора № 3-3-10 (2-ая генерация) 8.3 ± 1.5 Ка (Баласанян, 2017), представляющая собой единственную на сегодняшний день достоверную датировку голоценового вулканизма Сюника.

Самый южный ареал проявления вулканизма Армении проявлен в пределах Капанского блока, где проявлены недосыщенные кремнезёмом лавы базальт-базанитового состава. Извержения связаны с пятью шлаковыми конусами, объемы лав относительно небольшие. Четвертичный вулканизм в пределах Капанского блока относится к верхам среднего плейстоцена (вулкан Норашеник, 913 ± 70 Ка) и к началу среднего плейстоцена (вулкан Кармракар, 748 ± 25 Ка).

Все обобщенные в Главе 2 вулканологические, геохронологические и сейсмологические данные, а также приведенные результаты оценок частоты повторяемости вулканизма, допускают возможность возобновления моногенной вулканической активности на Гегамском, Вардениском и Сюникском вулканических нагорьях в обозримом будущем.

ГЛАВА 3. ГЕОХИМИЯ ВЕРХНЕПЛЕЙСТОЦЕН - ЧЕТВЕРТИЧНОГО ВУЛКАНИЗМА СВ ЧАСТИ АРМЯНСКОГО НАГОРЬЯ

В данной главе обсуждаются новые геохимические и Sr-Nd-Pb-Hf изотопные данные автора для представительных образцов вулканических пород северной Армении, Цахкуняцкого хребта, Арагацской вулканической провинции, Вардениского и Сюникского нагорий и Капанского блока, а также обширный объем литературных данных по коллизионному вулканизму всего региона. Геохимические и изотопные исследования, представленные в данной главе, касаются фундаментальных вопросов генерации коллизионного магматизма: характеристик астеносферных и литосферных мантийных источников, влияния коровой контаминации, смешения магм и процессов кристаллизационной дифференциации. Главными задачами настоящей главы является геохимическая типизация пост-коллизионных лав Армении, геохимическая характеристика мантийных и коровых источников коллизионного магматизма, так называемых конечных членов (end members) с целью создания

петролого-геохимической и геодинамической модели коллизионного магматизма региона.

Касаясь особенностей состава лав Джавахетского нагорья, важно отметить, что т.н. платобазальты или «долериты» из северной и центральной Армении, характеризуются суб-офитовой (долеритовой) структурой основной массы и наличием вкрапленников клинопироксена, реже идиоморфных вкрапленников оливина и таблитчатого плагиоклаза. Составы однородны и варьируют в относительно узких пределах от базальтов до базальтовых трахиандезитов.

Исследованные платобазальты демонстрируют наименьшую для коллизионных магм региона степень обогащения LILE/HFSE и LREE/HREE, умеренные минимумы Ta, Nb, Ti, и положительную аномалию Zr, см. Рис 3. Геохимические и изотопные данные свидетельствуют об их образовании из литосферного мантийного источника, обогащенного предыдущей субдукцией, при ~1.5-5% степени частичного плавления гетерогенного метасоматизированного амфибол-содержащего перидотита.

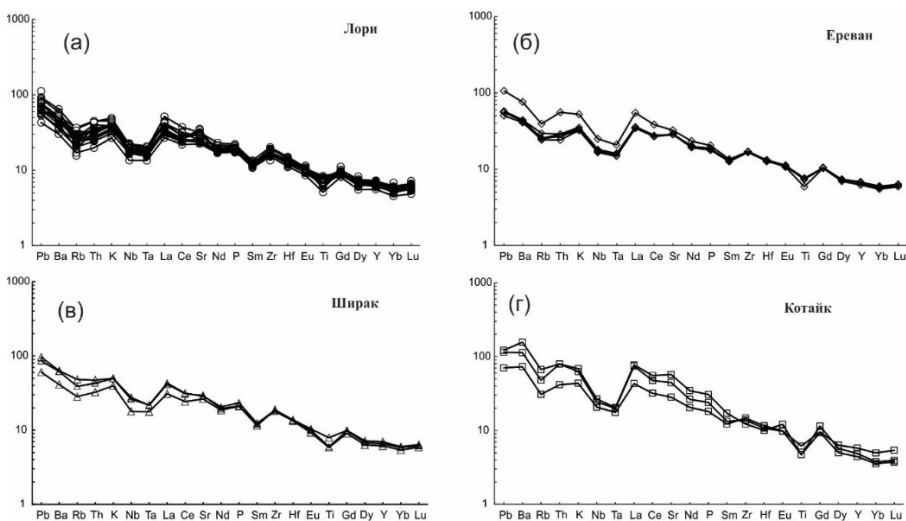


Рис. 3. Спайдер диаграммы для исследованных платобазальтов Армении по регионам, нормированные к составу примитивной мантии по (Sun & McDonough, 1989).

Дальнейшая эволюция «долеритового» вулканизма привела к формированию дифференцированных серий Джавахетского хребта и периферических центров (вулканических конусов) андезитового, дацитового и риолитового состава, а изотопно-геохимические исследования не выявили ощутимых следов верхнекоровой контаминации в их формировании.

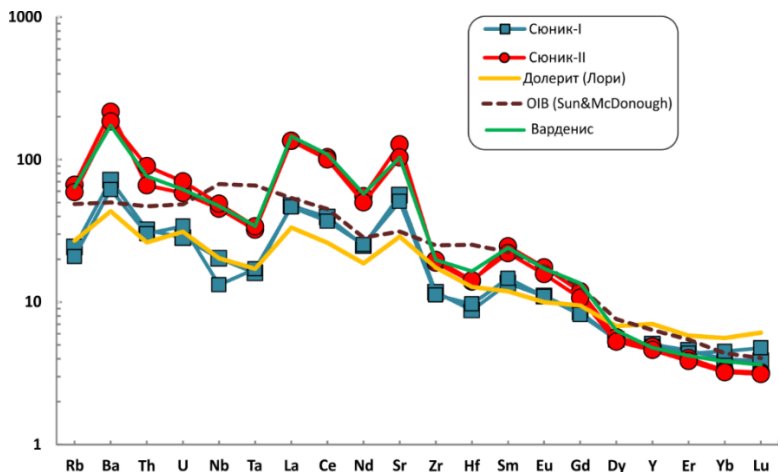


Рис. 4. Распределение редких элементов нормированных к примитивной мантии в четвертичных базальтоидах Сюникского нагорья. Составы долеритов, Варденисского трахиандезита и модельного OIB показаны для сравнения. Отчетливо видны разделение Сюникских серий на два дискретных состава – базальтовый (Сюник-I) и базанит-трахибазальтовый, обогащенный (Сюник-II). Нормализующие факторы и состав OIB по (Sun & McDonough, 1989).

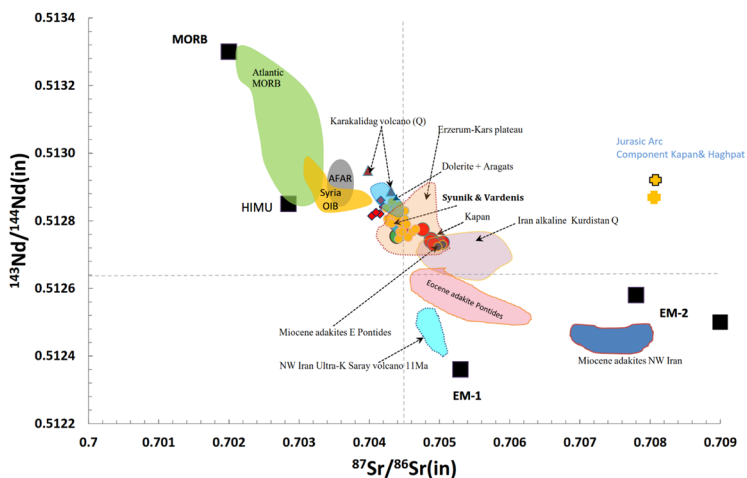


Рис. 5. Диаграмма $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ vs. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ для исследованных вулканических пород Армении в сравнении с региональными и главными изотопными резервуарами. Мезозойские островодужные породы даны по Mederer et al., (2013) и Neill et al.,(2015); и пересчитаны по возрасту к инициальным значениям. Литературные данные по изотопным характеристикам вулканизма региона по (Pearce et al., 1990; Allen et al., 2013; Keskin et al., 1998; Lustrino et al., 2012; Eyuboglu et al., 2011; Eyuboglu et al., 2012; Kararli et al., 2010).

Отношения $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ и $^{86}\text{Sr}/^{87}\text{Sr}$ в Арагацских лавах варьируют в относительно узких пределах, близки к таковым в платобазальтах и указывают на деплетированный мантийный источник, не демонстрируя при этом сколько-нибудь видимого обогащения из древних верхнекоровых радиогенных изотопных резервуаров с повышенными $^{86}\text{Sr}/^{87}\text{Sr}$ и пониженными $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ изотопными отношениями. Исследования риолитов региона впервые установили наличие адакитовых составов в пост-коллизиионном вулканизме Армении. Исследованные адакитовые риолиты Цахкуняцкого хребта плиоценового возраста по своим геохимическим особенностям, могут быть отнесены к низко-магнезиальным, высоко-кремнеземистым адакитам, а исходя из высоких отношений $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ (0,96-1,44) они могут быть отнесены к нижнекоровым “континентальным” адакитам.

Петро-геохимические и изотопные характеристики вулканических пород Арагацской вулканической провинции, варьирующие по составам от трахибазальтов до трахидацитов и риолитов, демонстрируют близкие к платобазальтам спектры распределения редких и редкоземельных элементов. В тоже время, для базальтоидов Арагаца типичны повышенная щелочность, и большие степени обогащения LILE/HFSE и LREE/HREE.

Установлено, что моногенные вулканы Араратской долины на юго-западе Арагацской вулканической провинции представляют собой отличную от Арагаца и достаточно глубинную высокотемпературную магматическую систему, которая ближе к вулкану Арарат. Геохимические особенности вулканизма Гегамского хребта демонстрируют близость к Арагацским породам, но для Гегамы характерна меньшая степень дифференциации, что может объясняться наличием под Арагацем большого промежуточного очага, где происходила дифференциация магм, в отличие от моногенного (ареального) характера вулканизма Гегамы. При сравнении Вардениских, Сюникских и Капанских пород с платобазальтами, с Арагацем и Гегамом, прежде всего бросается в глаза повышение щелочности, наличие недосыщенных кремнеземом пород (базанитов, тефритов, фонотефритов), обогащение всем спектром редких элементов, и большая степень обогащения LILE/HFSE и LREE/HREE. Фундаментальным отличием минерального состава Сюникских и Капанских пород от Арагацских и Гегамских является наличие, в больших количествах водосодержащих минералов - амфибола, флогопита, апатита, что с учетом геохимических характеристик указывает на кардинально отличный флюидный режим и степень метосоматоза в мантии при формировании магм Сюника и Вардениса в сравнении с Гегамом и Арагацем. При этом для Сюника фиксируется наличие двух отличных геохимических серий: базальтовой (Сюник-I) и обогащенной базанит-трахибазальтовой (Сюник-II).

Сопоставление изотопных характеристик $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ vs. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ исследованных вулканических пород Армении в сравнении с региональными и главными изотопными резервуарами и пост-коллизийными магмами соседних с Арменией регионов (рис. 4) свидетельствует об увеличении степени обогащенности мантийного источника вулканизма в южном направлении в направлении к базанитам Иранского Курдистана, несущим следы воздействия Загросской субдукции (Allen et al. 2013).

Обсуждение результатов и выводы по геохимическим особенностям изученных вулканических серий Армении от Джавахетского нагорья на севере до Капанского вулканического ареала на юге Армении обобщены в главе 4, где предлагается также геодинамическая интерпретация коллизийного вулканизма Армении и предлагается концептуальная модель вулканизма зоны Аравийской коллизии для всего региона.

ГЛАВА 4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ КОЛЛИЗИОННЫХ МАГМ ТЕРРИТОРИИ АРМЕНИИ

В данной главе, на основе обширного фактического материала изложенного в главах 1-3 приводится обсуждение основных результатов, и предлагается концептуальная модель вулканизма зоны Аравийской коллизии.

Приведенные геохимические, изотопные и минералогические данные свидетельствуют о том, что пост-коллизийный вулканизм Армении связан с двумя различными мантийными источниками. Один из них это «долеритовый» литосферный мантийный источник, в дальнейшем магмы этого источника смешивались с адакитовыми нижнекоровыми расплавами и данный процесс ответственен за вулканизм Арагаца, Гегам и частично Варденисского и Сюникского нагорий. Геохимические данные по долеритам северной Армении свидетельствуют о малой-средней степени плавления субдукционно-модифицированной литосферной мантии в пределах поля стабильности шпинели.

Второй мантийный источник – Капанский источник базанитов, с которым связан также магматизм типа Сюник-II, частично проявленный также в вулканизме Варденисского нагорья, тяготеет к метасоматизированным астеносферным мантийным источникам базанитовых магм Иранского Курдистана обогащенного ОIВ типа и выделяется нами как мантийный источник магм Капан-Сюник-II.

Сравнительный анализ геохимических характеристик вулканизма Джавахетского плато, Арагаца, Гегам и Карс-Эрзерумского плато показывает, в целом, их единообразие. Таким образом, Варденис и Сюник являются границей между различными мантийными источниками: Карс-Эрзерум-Джавахети-Арагац-Гегам (долеритовый) на север-северо-запад и Сюник-Капан-СЗ Иран на юг-юго-восток (базанитовый).

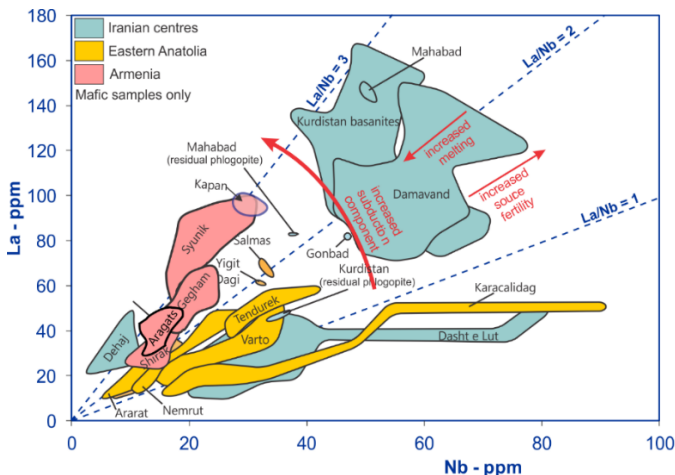


Рис. 6. Диаграмма La vs. Nb (по Meliksetian et al., 2012; Allen et al., 2013 показывающая, что отношения La/Nb в регионе подвержены значительным вариациям. Диаграмма наглядно демонстрирует увеличение абсолютных концентраций La и Nb в направлении с СЗ на ЮВ (Джавахетский хребт-Арагац-Гегам-Варденис-Сюник-Капан), включая увеличение отношения La/Nb в том же направлении, что отражает увеличение субдукционного компонента в мантийном источнике. Эти особенности связаны с воздействием Загросской субдукции на региональную мантию, проявленным в Иранском Курдистане (Allen et al., 2013), а в Армении в Сюнике (Сюник-II) и Капане.

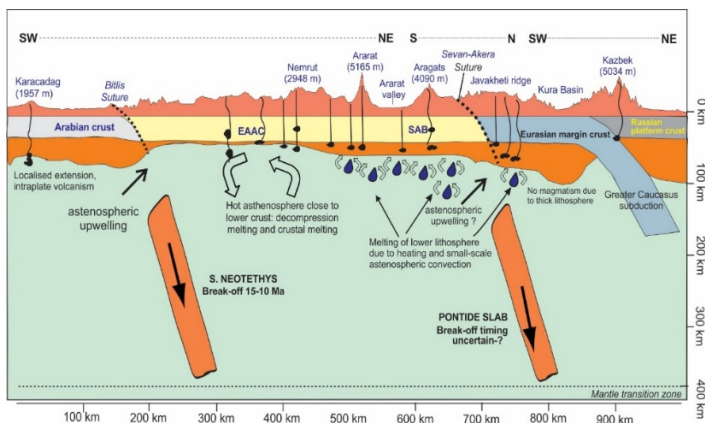


Рис. 7. Геодинамическая модель, показывающая литосферу и верхнюю мантию зоны коллизии Евразии и Аравии в пределах от северного выступа Аравии (внутриплитный вулкан Каркалидаг) через Армянское нагорье до Предкавказья. Использованы: новые данные автора, а также данные (Меликсетян, (2015); Neill et al., (2013; 2015); Keskin et al., (2003); Zor et al., (2008); по новым данным по сейсмической томографии, Skolbeltsyn et al. (2014), которые позволили выявить два поглощенных слэба, на юге (Битлис-Загрос) и севере (Малый Кавказ, Понтийский хребет) и данным Mumladze et al. (2015) позволившим установить наличие северо- направленной субдукции под Большим Кавказом по данным сейсмической томографии.

В том же направлении с северо-запада (Джавахетский хребет) на юго-восток (Сюник-Капан) увеличивается степень метасоматоза в мантии за счет привноса субдукционного компонента в мантийные источник магм. При этом на севере воздействие связано с прошлыми субдукциями мезозойского возраста, а на юге накладывается (и преобладает) воздействие более молодой Загросской субдукции выражающееся как во флюидном обогащении, так и в геохимических и изотопных характеристиках (рис 6).

В том же направлении, по геохимическим данным, с северо-запада на юго-восток увеличивается мощность континентальной коры, причем на стыке Гегамского и Ваденисского нагорья, а также при переходе от Сюникского нагорья к СЗ Ирану это происходит скачкообразно, увеличиваясь в среднем от 52 до 68 км и от 70 до величин более 100 км соответственно. Указанные данные по оценке глубины поверхности Мохо получены для СВ части Армянского нагорья впервые.

Коллизионный магматизм является продолжительным и широко распространённым явлением в пределах Анатолийско-Армяно-Иранского возвышенного плато, при этом точные причины его возникновения остаются дискуссионными. Однако изложенные в данной работе данные свидетельствуют, что модель, объясняющая магматизм региона отрывом южного слэба Нео-Тетиса не может считаться достаточно однозначной, особенно для объяснения интенсивного и продолжительного магматизма в пределах Армении на большом удалении от Битлисской (Ассирийской) сутуры на север.

Представляется, что причиной возникновения объемного плато-базальтового магматизма к северу от Амасия-Севано-Акеринской сутуры является отрыв северного, Понтийского слэба в позднем миоцене, наличие которого фиксируется геофизическими данными (Skolbeltsyn et al., 2014). Вследствие этого отрыва мог произойти подъем горячей астеносферы в пределах Армении и всей северной части Армянского нагорья.

Подобная геодинамическая модель, (рис.7) основанная на анализе наших геохимических и литературных геофизических данных предполагает наличие двух слэбов на юге (Битлис-Загрос) и севере (Малый Кавказ, Понтийский хребет).

Коллизионный магматизм является важным компонентом формирования континентальной коры, при этом отличается по ряду геохимических характеристик от имеющихся оценок состава континентальной коры. К таким характеристикам относятся повышенная щелочность, обогащенность РЗЭ, LIL и HFS элементами, а также пониженные Th/La отношения. Даже с учетом меньшего объема коллизионного вулканизма в сравнении с островодужным или рифтовым, тем не менее, геохимически отличный вклад коллизионного магматизма является существенным и должен

приниматься во внимание при построении моделей формирования, эволюции и оценке геохимических характеристик континентальной коры.

Изученные «континентальные» низко-магнезиальные и высоко-кремнеземистые адакиты, образованные при плавлении относительно молодого метабазитового субстрата в нижней коре находятся в тесной пространственной (Гарусар) и пространственно-временной (Цахкуняцкий хребет) ассоциации с плиоцен-четвертичными пост-коллизийными 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 вулканизма кислого и среднего состава зоны Аравийской коллизии.

В результате пространственного анализа изотопных датировок магматизма региона и стратиграфических данных впервые продемонстрировано, что в регионе Аравийской коллизии происходила латеральная миграция событий отрыва слэба и сопряженных процессов инициации пост-коллизийного магматизма во времени, с северо-запада (11-10 Ма) на юго-восток (6 Ма). Эти особенности омоложения возраста магматизма можно объяснить существующей стадийной моделью процесса отрыва слэба предложенной (Wortel & Sparkman 2000).

ГЛАВА 5. ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА ВУЛКАНИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ НА ПРИМЕРЕ АРМЕНИИ И РАЙОНА АРМЯНСКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

В последние годы, в связи с ростом урбанизации и развитием инфраструктур повышается уязвимость перед природными катаклизмами и возрастает значение оценки природных опасностей, таких как землетрясения, вулканические извержения и их последствия. Как уже отмечалось во Введении, как в древней, так и в новейшей истории человечества известны многочисленные вулканические катастрофы, приведшие нередко к тысячам и даже к десяткам тысяч человеческих жертв и нередко к радикальным изменениям климата.

В целом, сильные и катастрофические вулканические извержения ($VEI \geq 5$) на Земле характеризуются существенно меньшей частотой повторяемости в сравнении с сильными землетрясениями. К примеру, если частота повторяемости землетрясений с магнитудой в диапазоне 6-6.9 составляет 134 в год (база данных USGS, 2015), то вулканические извержения магнитудой 6 ($VEI=6$) происходят на Земле с средним 1 раз в 120-150 лет по данным базы данных LaMEVE (Croweller et al., 2012). В тоже время, если сейсмические риски, во многих случаях, зачастую успешно снижаются за счет эффективного сейсмического районирования и сейсмостойкого строительства, а также

подготовки населения (особенно в развитых странах), то риски для населения и инфраструктур при катастрофических вулканических извержениях и их последствия не могут быть, сколько-либо эффективно снижены. Весь комплекс геологических, изотопно-геохронологических, вулкано-тектонических, сейсмологических данных, а также результаты оценок частоты повторяемости вулканизма приведенные в главах 1, 2 и 4 настоящей работы допускают возможность возобновления моногенной вулканической активности на Гегамском, Вардениском и Сюникском вулканических нагорьях Армении, а также в пределах Самсарского нагорья в южной Грузии.

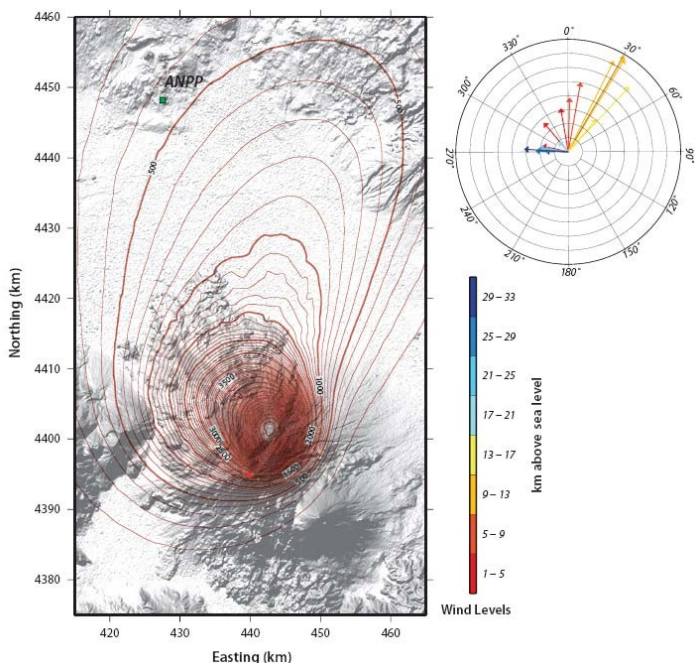


Рис. 8. Пример карты изомасс для гипотетического извержения вулкана Арарат. Контуры показаны в единицах $\text{кг}\cdot\text{м}^{-2}$ для сухого накопления тефры. Красные квадраты показывают местонахождение жерл, зеленый квадрат показывает площадку ААЭС. В этом примере ветры в основном дуют на север-северо-восток на низких высотах и на запад на больших высотах. Цифровая теневая карта рельефа получена на основе данных (Jarvis et al., 2008); координаты карты в UTM WGS84, (по Connor et al., 2011).

Исходя из наличия данных о плейстоценовой плиинианской вулканической деятельности, и свидетельств голоцен-исторической активности (Karakhanyan et al., 2002, Арутюнян, 2005), наиболее опасным для населения и инфраструктур Армении является также потенциально активный стратовулкан Арарат в восточной Турции находящийся в непосредственной близости к границам Армении.

Таблица 5.8.

Сводная информация об источниках вулканической опасности на площадке ААЭС, их расчетной вероятности и основных уровнях погрешности

Вулканическое явление	Вулканическое событие	Годовая вероятность	Источник неопределённости
Открытие новых жерл	Открытие нового моногенного жерла в < 2 км от центра площадки АЭС	5.9×10^{-8} 5.1×10^{-7}	Частота повторяемости вулканизма на Шамирамском плато
Пирокластические потоки	Объемное игнимбритообразующее извержение вулкана Арагац	2.1×10^{-7} 1.9×10^{-6}	Частота повторяемости игнимбритообразующих извержений Арагаца
Пирокластические потки и волны	Открытие нового моногенного жерла в 10 км от центра площадки АЭС	6.5×10^{-9} 5.6×10^{-8}	Частота повторяемости вулканизма, отсутствие данных о малых пирокластических потоках на Шамирамском плато
Выпадение тefры	Накопление тefры на площадке > 100 кг м ⁻² вследствие эксплозивного извержения Арарата	10^{-5} - 10^{-6}	Частота повторяемости эксплозивных извержений Арарата, неполная геологическая летопись вследствие быстрой эрозии пирокластических отложений.
Выпадение тefры	Накопление тefры на площадке > 100 кг м ⁻² вследствие эксплозивного извержения Арагаца	1.3×10^{-7}	Частота повторяемости эксплозивных извержений Арагаца, неполная геологическая летопись вследствие быстрой эрозии пирокластических отложений.
Вулканические бомбы	Открытие нового моногенного жерла в < 6 км от центра площадки АЭС с воздействием баллистических тел	3.6×10^{-7} 2.4×10^{-6}	Частота повторяемости вулканизма на Шамирамском плато
Лавовые потоки	Открытие нового моногенного жерла на Шамирамском плато с образованием лавового потока способного затопить площадку АЭС	1.0×10^{-7} 8.8×10^{-7}	Частота повторяемости вулканизма на Шамирамском плато
Лавины, обрушения склонов	Коллапс склона Арарата, образование обвалов и обломочных лавин с потенциалом воздействия на площадку	$< 1 \times 10^{-7}$	Вероятность катастрофического извержения Арарата с обрушением склонов вулкана
Обломочные лавины и сели	Выпадение тefры на Шамирамском плато, в связи с извержением Арарата, реммобилизация и образование обломочных селевых потоков	10^{-5} - 10^{-6}	Частота повторяемости вулканической активности Арарата
Вулканические газы, гидротермальные системы, атмосферные явления, вулканическая сейсмичность, деформации грунта	Открытие нового моногенного жерла в < 6 км от центра площадки и вторичные эффекты	$< 3 \times 10^{-6}$	Частота повторяемости вулканизма на Шамирамском плато

Обобщение опасностей и вероятностей их воздействия на площадку АЭС основанные на концептуальной модели вулканизма региона, цифровом моделировании потенциально опасных вулканических явлений и данных по частоте повторяемости вулканизма даны в таблице 5.8.

Главным выводом данной главы является то, что потенциальные вулканические опасности на площадке ААЭС существуют. Эти опасности определены количественно, оценки их вероятности проведены с использованием современных подходов и имеющейся на данный момент геологической, вулканологической, геохронологической информации. Несколько сценариев возможной вулканической опасности иллюстрируют сложный характер вулканических опасностей и диапазон их возможного воздействия на площадку.

Они варьируют от вулканических событий, способных оказать неблагоприятное воздействие на работу площадки (выпадение тefры с вулкана Арарат) до вулканических событий, которые, если бы произошли, опустошили бы площадку (например, игнимбритовое извержение вулкана Арагац).

Все расчетные уровни вероятности, приведенные в таблице 5.8, несут в себе элементы погрешности. Большая часть этих погрешностей связана с неопределенностью в определении частоты повторяемости вулканизма в регионе площадки.

В данной работе рассматриваются несколько альтернативных моделей, которым присваиваются весовые коэффициенты. Неясно, сможет ли дополнительный сбор информации дополнительно уменьшить эту погрешность (например, с помощью датировки большего количества обнажений игнимбритов), так как неясно, можно ли будет существенно уточнить модели уровня повторяемости или их весовые факторы.

Подобные данные помогут оценить границы вводимых параметров, заложенных в моделях данной работы для таких явлений, к примеру – частота повторяемости вулканической активности, тем самым обеспечив дополнительную достоверность расчетов вероятности. Согласно директивам МАГАТЭ, решение о приемлемости тех или иных расчетных вероятностей лежит на национальных органах ответственных за принятие соответствующих решений. Таким образом, если будет принято решение о том, что площадка ААЭС приемлема для постройки новой АЭС, то рекомендуется разработать планы реагирования на потенциальную вулканическую активность на вулканах Арарат, Арагац и Шамирамского плато и других более удаленных вулканических систем. Кроме того, согласно директивам МАГАТЭ, рекомендуется разработка планов мониторинга этих потенциально активных (capable volcanoes) вулканов.

ГЛАВА 6. ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ТИПИЗАЦИЯ ОБСИДИАНОВ ЮЖНОГО КАВКАЗА И АРХЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.

В последние десятилетия археологическая наука ставит целый комплекс научных проблем, решение которых связано с геохимическим исследованием вещества различных артефактов, петрографическими и литологическими исследованиями, изотопным датированием, то есть с применением геологических, в широком смысле, подходов к исследованиям. Этим объясняется также тот факт, что в последние десятилетия основной прогресс в области археологии фиксируется в междисциплинарных направлениях, где для исследования археологических артефактов или определения источников сырья используются методы естественных наук, таких как геология, геохимия, петрография, минералогия, химия, физическая химия. Комплекс естественнонаучных подходов в археологии сформировалось относительно новое междисциплинарное научное направление, называемой Археометрией (Archaeometry) или научной археологией (archaeological science).

В данной главе автор представляет результаты собственных археометрических исследований проведенных в рамках международных исследовательских проектов по изучению геологии риолитовых вулканов Армении и геохимии обсидиана в археологическом и вулканологическом аспекте.

Обсидианы риолитовых вулканов Армении (14 источников), Грузии (Чикиани) и Карс-Эрзерумского плато (7 источников) исходя из их геохимических особенностей могут быть надежно разделены между собой.

Происхождение археологических артефактов идентифицировано с помощью инновационной геохимической методики, основанной на предварительном разделении обсидианов на две группы на основе диаграмм $Ba \times La$ vs $Th \times U$ и Ba vs. Th . В дальнейшем, геохимическая типизация отдельно для каждой группы может осуществляться на диаграммах La/Yb vs. Ta/Yb , Th vs La , La/Yb vs. Variable A, Fe/Sc vs. Variable A, Hf vs. Sc , Zr vs. Hf , Sc vs. Ta , Hf vs Ta , Zr/Ta vs. Ta/Yb , Ba/Cs vs. Ba/Zr .

Обсидиан риолитовых вулканов Южного Кавказа использовался в доисторическое время не только на поселениях в Армении и Грузии, но и на большом удалении: в Трое, на обширном Иранском плато, на Северном Кавказе, на поселениях Куринской низменности.

Так, данным исследованием впервые установлено, что обсидиан из источников на территории Армении обнаруживается на археологических памятниках Северного Кавказа (Дагестан) и в легендарной Трое (Эгейское побережье). При этом между территорией современной Армении и Троей имеются десятки других источников высококачественного обсидиана. В данной главе дается более детальная

характеристика источников обсидианов на археологических памятниках обширного Иранского плато, где несмотря на наличие большого количества вулканов, в том числе кислых, обсидианы отсутствуют. Детальными геохимическими исследованиями установлено наличие обсидианов из восточной Турции на археологических памятниках Армении.

С учетом новых данных удалось идентифицировать геологические источники четырех из выделенных ранее (Blackman et al, 1998) шести геохимических групп археологического обсидиана, описанных как «неизвестные закавказские обсидианы» (Transcaucasian unknown, TCUNK). Так, не идентифицированные ранее геохимические группы обсидианов TCUNK-1 и TCUNK-2, по нашим данным могут быть отнесены к источникам южная Яглица и западный Эрзерум - I в пределах Карс-Эрзерумского плато соответственно. Средний состав TCUNK-3 геохимически соответствует обсидианам вулкана Атис, а TCUNK-5 – соответствуют адакитовым риолитам и находятся в пределах геохимических вариаций состава Цахкуняцких обсидианов.

В ходе полевых работ с целью геоархеологического изучения и геохимического опробования обсидиановых вулканов Армении в строении риолитовых вулканов Армении (Артени, Гехасар, Мец Сатанакар, Севкар) впервые выделены так называемые купольные потоки, куле (coulée), формирование которых связано с большой вязкостью риолитового расплава.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Коллизионный вулканизм является индикатором смены геодинамических обстановок и представляет собой уникальный объект для понимания магмогенерации и подъема магм в зонах коллизии дополняя наши знания о природе вулканической активности, связи с тектоническими условиями и эволюции вулканизма во времени в пространстве.

В результате всестороннего анализа и обобщения данных предложена петрогенетическая и геодинамическая модель четвертичного вулканизма Анатолийско-Армяно-Иранского орогенного плато, выявлены литосферные и/или астеносферные мантийные источники магм и пути дальнейшей их эволюции - кристаллизационной дифференциации или смешения магм в пределах различных вулканических кластеров Южного Кавказа.

СВ часть Армянского нагорья является одной из наиболее плотных кластеров моногенного вулканизма на Земле, что связано с интенсивной генерацией магм в регионе и благоприятных условиях проявления вулканизма на поверхности, таких как

высокая проницаемость коры и наличие зон локального растяжения связанных со сдвиговой тектоникой зоны Аравийской коллизии.

В работе впервые достоверно датирован интервал активности Арагаца 1.53-0.48 Ма, уточнены возрастные интервалы выделенных более ранними исследованиями стадий вулканизма. В частности, значительно расширена и детально датирована наиболее молодая, iv стадия вулканизма Арагаца, выделенная в пост-игнимбритовую стадию (<650 Ка).

Пост-коллизийный вулканизм Армении связан с двумя различными мантийными источниками. Один из них это «долеритовый» литосферный мантийный источник, второй мантийный источник – Капанский источник базанитов, с которым связан также магматизм типа Сюник-II, частично проявленный также в вулканизме Варденисского нагорья. Таким образом, Варденис и Сюник являются границей между различными мантийными источниками: Карс-Эрзерум-Джаваheti-Арагац-Гегам (долеритовый) на север-северо-запад и Сюник-Капан-СЗ Иран (базанитовый) на юг. Геохимические характеристики исследованных вулканических серий Армении связаны с обогащением мантийных источников вулканизма прошлыми субдукциями имевшими место в регионе. При этом в «долеритовом» мантийном источнике наблюдается воздействие мезозойских субдукций, а в источнике Сюник II-Капан, наблюдается воздействие отличного субдукционного компонента связанное с наложением воздействия более молодой Загросской субдукции. Заслуживает упоминания, что пространственный анализ геохимических данных показывает, что в том же направлении фиксируется скачкообразное увеличение мощности континентальной коры региона от 40 до 100 км.

Геодинамическая модель, основанная на всестороннем анализе наших геохимических и литературных геофизических данных предполагает наличие двух слэбов на юге (Битлис-Загрос) и севере (Малый Кавказ, Понтийский хребет). Вследствие отрыва северного слэба мог произойти подъем горячей астеносферы в пределах Армении и всей северной части Армянского нагорья. Представляется, что именно такая модель может объяснить формирование большого объемного платобазальтов на севере зоны коллизии и их изотопно-геохимические отличия от вулканизма на юго-востоке Армении.

Впервые показано, что в истории эволюции магматизма Армянского нагорья адакитовый магматизм проявлен не только на стадии АКО в Эоцене и олигоцен-миоцене, но также и на пост-коллизийной стадии в позднем миоцене – плиоцене. Указанные адакиты являются конечными членами при смешении мантийных основных и кислых адакитовых магм.

Обобщенные данные по изотопной геохронологии вулканизма и его связи с геодинамикой во времени и пространстве показали, что в регионе Аравийской коллизии происходила латеральная миграция события отрыва слэба и связанной с этим процессом инициации пост-коллизионного магматизма во времени, с северо-запада (11-10 Ma) на юго-восток (6 Ma), что можно объяснить существующей теоретической моделью отрыва слэба предложенной (Wortel & Sparkman, 2000).

Все обобщенные в работе вулканологические, геохронологические и сейсмологические данные, а также приведенные результаты оценок частоты повторяемости вулканизма, допускают возможность возобновления моногенной вулканической активности на территории Армении в пределах Гегамского, Варденисского и Сюникского вулканических нагорий. Исследованиями автора по физической вулканологии и вероятностной оценке вулканической опасности, установлено, что наибольшую степень вулканической опасности для площадки Армянской АЭС имеют выпадение тefры вследствие возможного эксплозивного извержения вулкана Арарат, оцениваемое нами вероятностью в 10^{-5} - 10^{-6} в год.

В результате прикладных гео-археологических исследований автора, основанных на инновационном подходе к геохимической типизации обсидианов показано, разделение региональных источников обсидиана риолитовых вулканов Армении, Грузии и СВ части Карс-Эрзерумского плато. Установлено, что обсидиан риолитовых вулканов Южного Кавказа использовался в доисторическое время не только на поселениях в Армении и Грузии, но и на большом удалении: в Трое, на обширном Иранском плато, на Северном Кавказе, на поселениях Куринской низменности.

Մ Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Կոլիզիոն հրաբխականությունը հանդիսանում է երկրադինամիկ իրավիճակների հերթափոխման ցուցիչ և իրենից ներկայացնում է կոլիզիայի գոտիներում մագմատառաջացումը և մագմաների բարձրացումը հասկանալու յուրահատուկ օբյեկտ՝ լրացնելով մեր գիտելիքները հրաբխային ակտիվության բնույթի, տեկտոնական պայմանների և տարածության ու ժամանակի մեջ հրաբխականության էվոլյուցիայի մասին:

Հեղինակի կողմից Հայաստանի չորրորդական հրաբխականության վերաբերյալ ստացված իզոտոպային-երկրաքիմիական, հրաբխագիտական, երկրաժամանակագրական տվյալների համապարփակ անալիզի

արդյունքում առաջարկվել է Անատոլիա-Հայ-Իրանական օրոգեն պլատոյի (սարահարթի) չորրորդական հրաբխականության պետրոգենետիկ և գեոդինամիկ մոդելը, ի հայտ են բերված մագմաների լիթոսֆերային և/կամ ասթենոսֆերային մանթիական աղբյուրները և նրանց հետագա էվոլյուցիան՝ բյուրեղացման դիֆերենցիացիան կամ մագմաների խառնվելը Հարավային Կովկասի տարբեր հրաբխային կլաստերների սահմաններում:

Ցույց է տրված, որ Հարավային Կովկասի վերին պլիոցեն-չորրորդականի դոլերիտ-տրախիբազալտային հրաբխականությունը, որն ընդգրկում է Ախալքալաքի, Լոռու, Կոտայքի սարահարթերը և Կարս-Էրզրումի սարահարթի մի մասը, հանդիսանում է Երկրագնդի առավել երիտասարդ և փաքր պլատո-բազալտային պրովինցիան՝ անկախ տեկտոնական պայմաններից:

Փոքր Կովկասի դոլերիտ-տրախիբազալտային հրաբխականությունը արդյունք է սուբդուկցիոն-մոդիֆիկացված լիթոսֆերային մանթիական աղբյուրի փոքր և միջին աստիճանի (<5%) շպինելային ֆացիաների մասնակի հալման և չի ցուցադրում կեղևային զգալի կոնտամինացիայի կամ մագմաների իրար խառնվելու վկայություններ և իրենից ներկայացնում է տարածաշրջանի կոլիզիոն հրաբխականության մանթիական աղբյուրներից մեկը («դոլերիտային» լիթոսֆերային մանթիական աղբյուր):

Մասշտաբային պլատո-բազալտային մագմատիզմի առաջացման պատճառը Ամասիա-Սևան-Հազարայի սուտուրայից հյուսիս, հարավային սլեբի (с7э6) պոկումից բացի, կարող է լինել նաև հյուսիսայինի՝ Պոնտական սլեբի պոկումը ուշ միոցենում, ինչի հետևանքով տեղի է ունեցել տաք աստենոսֆերայի բարձրացումը Հայաստանի տարածքի սահմաններում և Հայկական բարձրավանդակի ամբողջ հյուսիսային մասում, որը կարող է հանդիսանալ լիթոսֆերային մանթիայի մասշտաբային հալման տրիգեր:

Հայաստանի հետկոլիզիոն հրաբխականությունը կապված է երկու տարբեր մանթիական աղբյուրների հետ: Դրանցից մեկը «դոլերիտային» լիթոսֆերային մանթիական աղբյուրն է, մյուսը՝ Կապանի բազանիտների աղբյուրը, որի հետ կապված է նաև Սյունիք II տիպի մագմատիզմը, որը մասնակիորեն ի հայտ է եկել Վարդենիսի բարձրավանդակի

հրաբխականության մեջ: Զավախեթի, Արագածի, Գեղամի և Կարս-Էրզրումի պլատոների հրաբխականության երկրաքիմիական բնութագրերի համեմատական անալիզիզը ցույց է տալիս նրանց նմանությունը: Այսպիսով, Վարդենիսն ու Սյունիքը սահման են տարբեր մանթիական դոմենների միջև՝ Կարս-Էրզրում-Զավախեթ-Արագած-Գեղամ («դոլերիտային») հյուսիս-հյուսիս-արևմուտքում և Սյունիք-Կապան-հյուսիս-արևմտյան Իրան («բազանիտային»)՝ դեպի հարավ: Հայաստանի ուսումնասիրված հրաբխային սերիաների երկրաքիմիական բնութագրերը կապված են հրաբխականության մանթիական աղբյուրների հարստացմամբ նախկին սուբդուկցիաներով, որոնք առկա են տարածաշրջանում: Ըստ որում, «դոլերիտային» մանթիական աղբյուրում դիտվում է մեզոզոյի սուբդուկցիաների ազդեցությունը, իսկ Սյունիք II-Կապան աղբյուրում դիտվում է այլ սուբդուկցիոն բաղադրիչի ազդեցությունը, որը կապված է ավելի երիտասարդ Զագրոսի սուբդուկցիայի ազդեցության վրադրման հետ:

Մոհոյի մակերևույթի տեղադրման խորությունը Հայկական բարձրավանդակի հյուսիս-արևելյան մասում, հյուսիս-արևմուտքից հարավ-արևելք ուղղությամբ, Զավախեթի լեռնաշղթայից և Արագածից մինչև Սյունիքի հրաբխային բարձրավանդակ և հյուսիս-արևմտյան Իրան, 40 կմ-ից աճում է ավելի քան 100 կմ: Այս տվյալները ցույց են տալիս սահմանի առկայությունը՝ կեղևի հզորության աճ և լիթոսֆերային դելամինացիայի տեղամասերի միջև, Գեղամի և Վարդենիսի հրաբխային բարձրավանդակների սահմանին:

Ամբողջ տարածաշրջանի երկրաժամանակագրական տվյալների տարածական անալիզի արդյունքում ցույց է տրված, որ Արաբական կոլիզիայի տարածաշրջանում ժամանակի մեջ ընթացել է սլեբի պոկման իրադարձությունների և հետկոլիզիոն մագմատիզմի և կապված ինիցիացիայի լաթերալ միգրացիա հյուսիս-արևմուտքից (11-10 Ma) դեպի հարավ-արևելք (6 Ma), ինչը կարելի է բացատրել կոլիզիայի գոտիներում սլեբի պոկման պրոցեսի լաթերալ միգրացիայի գոյություն ունեցող մոդելով:

Աշխատության մեջ ամփոփված բոլոր հրաբխագիտական, երկրաժամանակագրական և սեյսմոլոգիական տվյալները, ինչպես նաև

հրաբխականության կրկնելիության հաճախականության գնահատման արդյունքները հնարավոր են դարձնում Հայաստանի տարածքում՝ Գեղամի, Վարդենիսի և Սյունիքի հրաբխային բարձրավանդակների սահմաններում մոնոգեն հրաբխային ակտիվության վերաակտիվացումը:

Հայկական ԱԷԿ-ի տարածքի հրաբխային վտանգի հավանակային գնահատման աշխատանքների արդյունքում ցույց է տրվել, որ այդ տարածքի համար առավել մեծ հրաբխային վտանգ ներկայացնում է Արարատ հրաբխի հնարավոր էքսպլոզիվ ժայթքման արդյունքում տեֆրայի նստեցումը, ինչի հավանականությունը մեր կողմից գնահատվել է 10^{-5} - 10^{-6} /տարի:

Հեղինակի կողմից կատարված կիրառական գեոարխեոլոգիական հետազոտությունների արդյունքում, որոնք հիմնված են օբսիդիանների երկրաքիմիական տիպիզացիայի հանդեպ ինովացիոն մոտեցման վրա, ցույց է տրված Հայաստանի, Վրաստանի և Կարս-Էրզրումի պլատոյի ռիոլիտային հրաբուխների օբսիդիանի տարածաշրջանային աղբյուրների տարանջատումը: Հաստատված է, որ Հարավային Կովկասի ռիոլիտային հրաբուխների օբսիդիանը նախապատմական ժամանակաշրջանում օգտագործվել է ոչ միայն Հայաստանի և Վրաստանի բնակավայրերում, այլ նաև դրանցից մեծ հեռավորությունների վրա՝ Տրոյայում, Իրանի ընդարձակ սարահարթում, Հյուսիսային Կովկասում, Քուռի իջվածքի բնակավայրերում:

Formation of collision magmas at the example of Quaternary volcanism of the territory of Armenia and the volcanic hazards

SUMMARY

Collision volcanism is an indicator of the changes of geodynamic settings and represents a unique object for understanding magma generation conditions and their rise in the collision zones, contribute important information about links between volcanic activity and tectonic settings in space and time.

As a result of comprehensive analysis of new isotope, geochemical, volcanological, geochronological data on Quaternary volcanism of Armenia, petrogenetical and geodynamic model of Quaternary volcanism of Anatolian-Armenian-Iranian orogenic plateau is developed. Lithospheric and/or asthenospheric mantle sources of magmas and paths of their further evolution such as fractional crystallization and magma mixing within different volcanic clusters of South Caucasus are characterized.

It is demonstrated that Upper Pliocene-Lower Quaternary dolerite-trachybasaltic volcanism of South Caucasus including Akhalkalaki, Lori, Kotayk and part of Kars-Erzurum plateaus, represents the youngest and smallest continental flood basalt province regardless of tectonic settings.

It is demonstrated, that dolerite-trachybasaltic volcanism of South Caucasus is the result of small and medium degrees (<5%) partial melting of spinel facies of subduction modified lithospheric mantle source and does not demonstrate evidence of significant crust-contamination or magma mixing and thus, represents one of the mantle sources of collision volcanism in the region (“dolerite” lithospheric mantle source).

Large-volume CFB magmatism to the north of Amasia-Sevan-Akera suture zone can be explained as a result of detachment of the northern Pontide slab in the late Miocene (Skolbeltsyn, 2014), apart from the detachment of the southern slab beneath Bitlis-Zagros suture (Keskin et al., 199), which caused the rise of hot asthenosphere within the territory of Armenia and the entire northern part of the Armenian Highland and triggered large-scale melting of the lithospheric mantle.

Post-collisional volcanism of Armenia is associated with two different mantle sources. One of them is the “dolerite” lithospheric mantle source and the second one is Kapan and Syunik -II source of basanites partially exposed also in the volcanism of Vardenis upland. A comprehensive analysis of geochemical characteristics of volcanism of Javakheti plateau, Aragats, Gegham and Kars-Erzurum plateaus demonstrate their uniformity. Therefore, Vardenis and Syunik represent a boundary

between two different mantle domains: Kars-Erzrum-Javakheti-Gegham (“dolerite”) to the north-northwest and Syunik-Kapan- NW Iran (“basanitic”) to the south.

Geochemical characteristics of the investigated volcanic series of Armenia are related to enrichment of mantle sources of volcanism by past subductions that took place in the region.

At that, influence of Mesozoic subduction is observed in the “dolerite” mantle source, while in the south in Syunik II-Kapan basanite source, overimposed influence of distinct subduction components associated with the younger Zagros subduction is observed.

By using Sr/Y geochemical proxy as indicator of crustal thickness, it is demonstrated that within NE part of the Armenian Highland, the Moho depth surface increases from 40 km to over 100 km in the direction from northwest to southeast: from Javakheti Ridge and Aragats to Syunik volcanic highland and NW Iran. These data indicate that the boundary between the area of thickening of the crust and lithospheric delamination lies at the border of Gegham and Vardenis volcanic highlands.

As a result of spatial analysis of geochronological data of the entire region, it was demonstrated that in the Arabian collision zone, lateral migration of slab break-off events and associated initiation of post-collisional magmatism occurred from the northwest (11-10 Ma) to the southeast (6 Ma), which can be explained by existing model (Wortel & Sparkman, 2000).

All volcanological, geochronological and seismological data summarized in this work, as well as the results of assessments of frequency of occurrence of volcanism, allow the possibility of renewal of volcanic activity at the territory of Armenia with Gegham, Vardenis and Syunik volcanic uplands.

As a result of the work on probabilistic assessment of volcanic hazard of the site of the Armenian NPP, it was asserted that the site of Armenian NPP is at most subjected to tephra fallout resulted from possible explosive volcanic eruption of Ararat volcano with annual probability at 10^{-5} - 10^{-6} per year according to our studies.

As a result of applied geoarchaeological studies, based on the innovative approach of geochemical characterization of obsidians, division of regional sources of obsidians of rhyolitic volcanoes of Armenia, Georgia and NE part of Kars-Erzrum plateau is shown. It has been demonstrated, that obsidian from rhyolitic volcanoes of South Caucasus was used at prehistoric times not only at the settlements in Armenia and Georgia, but also quite far from the geological sources, in Troy, Iranian plateau, northern Caucasus and in the settlements of Kura depression.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Монографии

1. Brown S.K., R.S.J.Sparks, S.Jenkins, **Kh. Meliksetian** et al. Global volcanic Hazards and Risks: Regional and country profiles of volcanic hazard and risk: Report IV for the Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction, UNISDR, Cambridge University Press, 2015, p. 797.
2. IAEA-TECDOC, Volcanic Hazard Assessment For Nuclear Installations: Methods And Examples In Site Evaluation., contributors: Aspinall, W.P. , Charbonnier, S., Connor, C. B. , Connor, L. J. C., Costa A., Courtland L. M., Delgado Granados H., Hibino K., Hill B. E., Komorowski J.C., Mcnutt S., **Meliksetian K.**, Nakada S., Newhall C., Samaddar S. K., Savov I. P., Self S., Uchiyama Y., Wilson T., Yamamoto T., Vienna, 2016, p. 283.

Статьи в рецензируемых научных журналах и сборниках

1. Джрбашян Р.Т., Казарян Г.А., Карапетян С.Г., **Меликсетян Х.Б.**, Мнацаканян А.Х., Ширинян К.Г., Мезокайнозойский базальтовый вулканизм северо-восточной части Армянского нагорья, Изв. НАН РА, Науки о Земле, 1996, XLIX, №1-3, с. 19-31.
2. Гукасян Р.Х., **Меликсетян Х.Б.**, Мнацаканян А.Х., Рубидий-стронциевые изотопные исследования и петрогенезис верхнемеловой вулканической серии Сев. Армении, Изв. НАН РА, Науки о Земле, 1997, L, № 3, с. 21-33.
3. **Меликсетян Х.Б.**, Петрогеохимические особенности верхнемелового вулканизма Малого Кавказа, Изв. НАН РА, Науки о Земле, 1997, L, № 1-2, с. 41-50.
4. **Меликсетян Х.Б.**, Геворкян Р., Гукасян Ю.Г., О находке спекулярита в кратере вулкана Брашарк-1 (Армения), Науки о Земле, НАН РА, 2010, т.3, с. 24-29.
5. Карапетян С.Г., Джрбашян Р.Т., Навасардян Г.Х., **Меликсетян Х.Б.**, Мнацаканян А.Х., Савов И., Гукасян Р.Х., Верхне-плиоцен-голоценовый вулканизм Сюникского нагорья, Науки о Земле, НАН РА, 2010, т.1, с. 3-21.
6. **Meliksetian Kh.**, Pernicka E, Geochemical characterisation of Armenian Early Bronze Age metal artefacts and their relation to copper ores. in S. Hansen, A. Hauptmann, I. Motzenbacher, E. Pernicka (Hrsg.), Von Majkop bis Trialeti. Gewinnung und Verbreitung von Metallen und Obsidian in Kaukasien im 4. - 2. Jt., 2010, p. 41-58.
7. Kunze R., Bobokhyan A., **Meliksetian Kh.**, Pernicka E., Wolf D., Archäologische Untersuchungen zur Umgebung der Goldgruben in Armenien mit Schwerpunkt Sotk, Provinz Gegharkunik. Archäologie in Armenien. Ergebnisse der Kooperationsprojekte 2010 – Ein Vorbericht. Harald Meller and Pavel Avetissyan (HRSG). 2011.
8. **Meliksetian Kh.**, Connor C., Connor L., Savov I., Navasardyan G., Halama R., Pleistocene - Holocene late collision volcanism of the territory of Armenia and volcanic hazard assessment. In “Worldwide early warning system of volcanic activities and mitigation of the global/regional consequences of volcanic eruptions”, ISTC International, Moscow, 2011, p. 136-143.
9. **Меликсетян, Х. Б.**, Геохимия вулканических серий Арагацкой области, Изв. НАН РА, Науки о Земле, 2012, 65 (3), с. 34-59.

10. Connor L.J., Connor C.B., **Meliksetian Kh.**, Savov I., Probabilistic approach to modeling lava flow inundation: a lava flow hazard assessment for a nuclear facility in Armenia. Springer, Journal of Applied Volcanology, 2012, 1:3, p. 1-19.
11. **Meliksetian Kh.**, Pliocene-Quaternary volcanism of the Syunik upland. Veröffentlichungen des Landesamtes für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen-Anhalt 2013, 67, p. 247-258.
12. Neill I., **Meliksetian Kh.**, Allen M.B., Navarsardyan G., Karapetyan S., Pliocene-Quaternary volcanic rocks of NW Armenia: Magmatism and lithospheric dynamics within an active orogenic plateau. Lithos 2013, 180-181, p. 200-215.
13. Kunze, R., Bobokhyan, A., Pernicka, E., **Meliksetian, Kh.** Projekt Ushkiani. Untersuchungen der Kulturlandschaft um das prähistorische Goldrevier von Sotk, in H. Meller & P. Avetisyan (Hrsg.), Archäologie in Armenien II. Berichte zu den Kooperationsprojekten 2011 und 2012 sowie ausgewählten Einzelstudien. Veröffentlichungen des Landesamtes für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen-Anhalt – Landesmuseum für Vorgeschichte 67, Halle (Saale), 2013, p. 49-92.
14. Frahm E., Feinberg J.M., Schmidt-Magee B., Wilkinson K., G Paryan B., Yeritsyan B., Karapetian S., **Meliksetian Kh.**, Muth M. J., Adler S., Sourcing geochemically identical obsidian: multiscalar magnetic variations in the Gutansar volcanic complex and implications for Palaeolithic research in Armenia 2014, Journal of Archaeological Science 2014, 47, p. 164-178
15. Frahm E., Schmidt B. A., Gasparyan B., Yeritsyan B., Karapetian S., **Meliksetian Kh.**, Adler D. S., Ten seconds in the field: rapid Armenian obsidian sourcing with portable XRF to inform excavations and surveys, Journal of Archaeological Science, January 2014, v. 41, , p. 333-348.
16. Джрбашян Р.Т., **Меликсетян Х.Б.**, Гукасян Ю.Г., Геворгян Р.П., Савов И., Карапетян С.Г., Навасардян Г.Х., Манучарян Д.А., Плинианское извержение вулкана Иринд (Арагацкая вулканическая область, Армения), Изв. НАН РА, Науки о Земле, 2015, N 68 (1), с. 3-21.
17. **Меликсетян Х. Б.**, Плато-базальтовый вулканизм в зонах коллизии: петрология и геохимия плиоцен-плейстоценовых базальтоидов северной и центральной Армении, Изв. НАН РА, Науки о Земле, 2015, N 68 (1), с. 22-46.
18. **Меликсетян Х. Б.**, Проявление адакитов в составе плиоцен-четвертичного коллизионного магматизма Армении, Доклады НАН РА, 2015, 115 (4), с. 319-328.
19. Neill I., **Meliksetian Kh.**, Allen M. B., Navasardyan G., Kuiper K. Petrogenesis of mafic collision zone magmatism: the Armenian sector of the Turkish-Iranian Plateau. Chemical Geology, 2015, n. 403, p. 24-41.
20. Sheth H., **Meliksetian Kh.**, Gevorgyan H., Israyelyan A., Navasardyan G., Intracanyon basalt lavas of the Debed River (northern Armenia), part of a Pliocene –Pleistocene continental flood basalt province in the South Caucasus. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 2015, n.295, p. 1-15.
21. Wolf D., Baumgart P., Meszner S., Füllung A., Haubold F., Sahakyan L., **Meliksetian Kh.**, Faust D., Loess in Armenia – stratigraphic findings and palaeoenvironmental indications, Proceedings of the Geologists' Association, April 2016, v. 127, Issue 1, p. 29-39.