

УДК 551.21:552.3(234.9)

Н. Короновский, д-р геол.-минералог. наук, проф.
E-mail: koronovsky@rambler.ruЛ. Демина, канд. геол.-минералог. наук, ведущ. науч. сотр.,
E-mail: lidem06@rambler.ru,Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, г. Москва, 119991, РФ

КОЛЛИЗИОННЫЙ ВУЛКАНИЗМ КАВКАЗСКОГО СЕКТОРА АЛЬПИЙСКОГО СКЛАДЧАТОГО ПОЯСА

(Рекомендовано членом редакційної колегії доктором геол.-минералог. наук, проф. М.І. Толстим)

Проявление субаэральное вулканизма в пределах Кавказа происходило в условиях общего субмеридионального сжатия, которое продолжается и в настоящее время. Установившийся к позднему миоцену коллизионный режим, сменивший процессы субдукции, обусловил сложный рисунок полей напряжений, ведущую роль в котором играли сдвиговые зоны ЮЗ, ЮВ, субширотного простираний и надвиги общекавказской ориентировки. С зонами субмеридионального сжатия сопряжены участки присдвиговых растяжений. Проявления вулканизма на поверхности повсеместно связано с обстановками локального, местного растяжения, но обусловленного региональным полем субмеридионального сжатия.

Коллизионные вулканиды, относящиеся, в целом, к известково-щелочной серии, характеризуется геохимическими чертами, присущими с одной стороны породам субдукционных зон, а с другой – континентальным рифтам. По соотношению оксидов Si, K, Mg и Ti на тройных диаграммах, поля собственно коллизионных вулканидов располагаются между полями вулканидов субдукционных зон и континентальных рифтов. Вулканиды-индикаторы коллизионного процесса характеризуются рядом типичных черт:

- 1) Отсутствием или слабым проявлением процессов кристаллизационной дифференциации;
- 2) Антидромной направленностью извержений (уменьшение кремнекислотности и повышение щелочности);
- 3) Резким обогащением более основных пород (бедных SiO₂) некогерентными элементами и легкими REE;
- 4) Небольшими глубинами генерации базальтовых магм;
- 5) Резкой латеральной неоднородностью химического состава вулканидов.

К югу возрастает толстовая тенденция в химизме пород, а геодинамическая обстановка эволюционирует в сторону континентального рифтогенеза. Причину указанной неоднородности является различие в механизме плавления, где главную роль играли процессы ликвации, метасоматические процессы, характер субстрата (при смещении очагов магматизма вовлекались гетерогенные, преимущественно коровые, субстраты различного состава), изменения режима общего давления на расплавы и температуры при их движении к поверхности. Расплавы андезит-дацитового состава в процессе эволюции испытывают разогрев (от 750-850°C до 1150°C) и повышение внутреннего давления (от 0,6-0,8 ГПа до 1,5 ГПа).

По сравнению с базальтами других геодинамических обстановок базальты Кавказа существенно обогащены Zr, что позволяет дополнить общеизвестные диагностические дискриминационные диаграммы Zr-Ti, Zr-Y, Zr-Ti-Y полями для вулканидов, образовавшихся при процессах континентальной коллизии.

Отличие коллизионных вулканидов Кавказа от "надсубдукционных" пород островных дуг проявляется в общем снижении содержания легких REE и степени их дифференцированности от основных пород к кислым.

Ключевые слова: коллизия, вулканизм, Кавказский сегмент, Альпийская складчатая область.

Введение. Альпийская складчатая область сформировалась в позднем кайнозое при столкновении двух крупных литосферных плит – Евразийской и Африкано-Аравийской. Это столкновение, начавшееся еще в позднем мелу, происходило в разных регионах не одновременно и в различных геодинамических условиях. В пределах Кавказского пересечения основную роль играла Аравийская плита, северное окончание которой представляло собой своеобразный индентор, под влиянием продвижения которого к северу и сформировались главные структурные единицы Альпийского складчатого пояса. Сжатие, формирование сети разрывных нарушений, образование горного рельефа за последние 11-10 млн лет сопровождалось проявлением субаэральное вулканизма, распределенного по площади неравномерно. Вулканиды, относящиеся в целом к известково-щелочной серии, формировались в обстановке коллизии, а не субдукции и геохимически отличаются от субдукционных.

Коллизия Евразийской и Африкано-Аравийской плит от начала их первого соприкосновения и до современного положения происходила в несколько этапов и не была равномерной в связи с изменением скорости конвергенции литосферных плит. Для наших целей имеет значение заключительный этап "жесткой" коллизии, начавшийся 11–10 млн лет тому назад. В это время уже произошло "спаивание" всех разнородных структурных элементов Кавказского сектора в единое целое, до этого испытывавших "приработку", занимая наиболее выгодное положение в общей структуре региона. Все процессы субдукции прекратились, и структурные единицы, сложенные относительно пластичными толщами, подверглись субгоризонтальному сжатию.

Современная структура Кавказского сектора сформировалась в условиях субмеридионального сжатия преобладающих в последние 11-10 млн лет, с некоторыми колебаниями ориентировки сжимающих сил. Аравийская плита ускоренно двигалась к северу, вызывая изгиб структурных дуг на Малом Кавказе и сеть левых и правых диагональных и субширотных сдвиговых зон и отдельных сдвиговых нарушений, а также субширотных надвигово-покровных зон с надвиганием масс к югу и к северу, в сторону Закавказского микроконтинента (рис. 1).

Вдоль сдвигов возникли участки присдвиговых растяжений, с которыми связаны проявления вулканизма. С позднего миоцена начинается коллизионный вулканизм, проявившийся в три фазы: 1) поздний миоцен – ранний плиоцен; 2) поздний плиоцен; 3) поздний плиоцен – антропоген [9]. Первая фаза была наиболее мощной и развитой на Малом Кавказе, в позднем миоцене – антропогене вулканизм распространился на север вплоть до северного склона Большого Кавказа. Проявления вулканизма на поверхности повсеместно связано с обстановками локального, местного растяжения, но обусловленного региональным полем субмеридионального сжатия. Именно в это время создались благоприятные условия для формирования первичных очагов магмы, давшей коллизионные вулканиды.

Особенности химического состава коллизионных вулканидов. Вулканиды Кавказского сектора относятся преимущественно к известково-щелочным, реже субщелочным и щелочным сериям, при этом кислые разновидности нормальной щелочности (риолиты, риодациты, дациты) преобладают над основными, средними, субщелочными и щелочными. В то же время для части пород устанавливается сериальная неопределенность,

выражаемая в том, что на разных типах диаграмм одни и те же вулканиты относятся к различным сериям. Например, на диаграмме AFM практически все вулканиты Кавказского сектора Альпийского пояса располагаются в поле известково-щелочных серий (рис. 2).

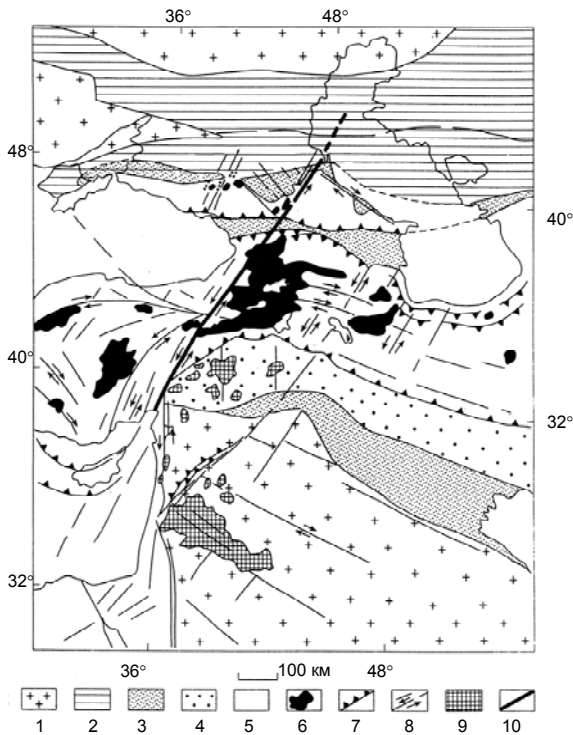


Рис. 1. Положение коллизионных магматитов в Кавказском синтаксисе Альпийского складчатого пояса:
 1, 2 – плиты: 1 – докембрийские; 2 – эпипалеозойские;
 3 – передовые и межгорные прогибы; 4 – погруженная часть Аравийской плиты; 5 – альпийские складчатые структуры; 6 – коллизионные магматиты (поздний миоцен-антропоген); 7 – надвиги; 8 – сдвиги и прочие разрывы; 9 – четвертичные базальты Аравийской плиты; 10 – Аграхан-Тбилисско-Левантийская левосдвиговая зона

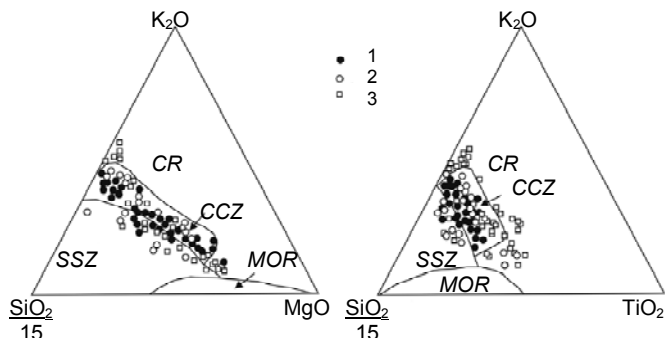


Рис. 3. Базальты Кавказского сектора Альпийского складчатого пояса на диаграмме А. Миясиро [1974]
 Данные авторов, а также из работ [10], [14]: 1 – Большой Кавказ; 2 – Малый Кавказ; 3 – Восточная Анатолия

Более существенные различия устанавливаются при детальном анализе распределения редких элементов, которые более чутко реагируют на изменения термодинамических условий плавления, обусловленных, в свою очередь, геодинамическим режимом.

Коллизионные вулканиты очень сильно различаются как по характеру спектра, так и по содержанию REE, однако в целом, для всех базальтов характерно заметное обогащение легкими лантаноидами, хотя степень этого обогащения в каждом конкретном случае различ-

на. В то же время, по соотношению SiO_2 , MgO и $FeO+Fe_2O_3$ известково-щелочной характер имеют только породы Большого Кавказа, толеитовый – Восточной Анатолии, а вулканиты Малого Кавказа распределены примерно поровну в обоих полях (рис. 3). Это говорит о том, что к югу возрастает толеитовая тенденция в химизме пород, а геодинамическая обстановка эволюционирует в сторону континентального рифтогенеза. По соотношению оксидов Si, K, Mg и Ti на тройных диаграммах, поля собственно коллизионных вулканитов располагаются между полями вулканитов субдукционных зон и континентальных рифтов. При этом часть пород отражает в своем химизме переходный характер магматизма от надсубдукционного к коллизионному и от коллизионного к континентально-рифтовому (рис. 4).

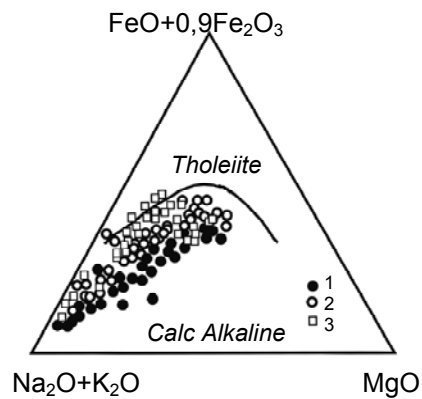


Рис. 2. Диаграмма AFM для базальтов Кавказского сектора Альпийского складчатого пояса.
 Данные авторов, а также из работ [10], [14]: 1 – Большой Кавказ; 2 – Малый Кавказ; 3 – Восточная Анатолия. Линия разделения вулканитов толеитовой и известково-щелочной серий по Т.Н. Ирвину и В.А. Барагару [12]

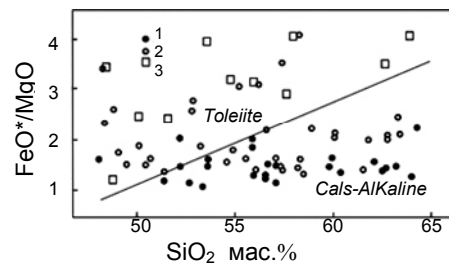


Рис.4. Коллизионные вулканиты Кавказского синтаксиса на диаграммах соотношений оксидов кремния, калия, титана и магния: 1 – Большой Кавказ; 2 – Малый Кавказ; 3 – Восточная Анатолия. Поля для вулканитов, образовавшихся в обстановках срединно-океанических хребтов (MOR), континентальных рифтов (CR), зон субдукций (SSZ) и областей межконтинентальной коллизии (CCZ) даны по [2]

на. Соотношение La/Lu_N меняется от 43,3 до 555,6, что, прежде всего, объясняется различной щелочностью пород. Для более кислых разностей, кроме дацитов, спектры REE значительно компактнее, при этом характерно за редким исключением общее снижение содержания легких REE и степени их дифференцированности от основных пород к кислым. Этим вулканиты коллизионного этапа развития Кавказа коренным образом отличаются от пород островных дуг [13], образовавшихся в обстановке над зоной субдукции, для которых

характерны обратные соотношения: повышение концентраций REE по всему спектру от более основных разновидностей к кислым, что обусловлено преимущественно процессами кристаллизационной дифференциации. Следовательно, в генезисе коллизионных вулканитов они практически отсутствуют или проявлены слабо.

Мультиэлементные геохимические спектры базальтов Кавказа показывают резко повышенные концентрации некогерентных элементов, хорошо проявленные отрицательные аномалии K, Sr, Ti, Y и положительные Ba, Th, La, Zr, Tb (рис. 5).

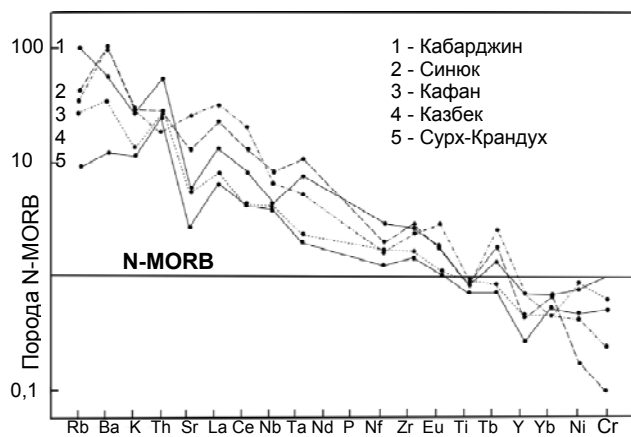


Рис. 5. Мультиэлементные спектры базальтов Кавказа. Анализы взяты из работы [10], N-MORB по [17]

По сравнению с базальтами других геодинамических обстановок базальты Кавказа существенно обогащены Zr, что позволяет дополнить общеизвестные диагностические дискриминационные диаграммы Zr-Ti, Zr-Y, Zr-Ti-Y полями для вулканитов, образовавшихся при процессах континентальной коллизии (рис. 6).

Соотношения изотопов Sr в лавах Большого Кавказа изменяются от 0,7042 до 0,7064 [3], располагаясь близко к изотопным характеристикам молодой коры континентального типа.

В целом отмечается антидромный характер вулканизма: в процессе эволюции магматизма наблюдается уменьшение кремнекислотности вулканитов, что особенно ярко проявлено в химическом составе пород Кавказа. В этом же направлении происходит и повышение щелочности.

Другой яркой особенностью коллизионного вулканизма является резкая латеральная неоднородность химического состава вулканитов, когда наблюдаются значительные вариации содержания многих химических элементов в сопоставляемых породах разного возраста, обнажающихся в одних и тех же местах, в то время как пространственные вариации очень существенны [5; 10]. Это свидетельствует о том, что в плавлении вовлекались гетерогенные преимущественно коровые субстраты различного состава. Доказательством корового происхождения большинства кислых и средних вулканогенных пород является присутствие в вулканитах ксенолитов осадочных и метаморфических пород, а также высокоглиноземистых минералов: граната, корунда, кордиерита, ставролита.

В вулканитах также чрезвычайно широко распространены родственные (гомеогенные) включения пород более основного состава: плагиоклазовых пироксенитов в базальтах; норитов, габроноритов, анортозитов в андезибазальтах и андезитах; диоритов, габродиоритов, гранодиоритов в дацитах и риодацитах. Многими исследователями этот факт истолковывается как доказательство их происхождения при смешении мантийных лав с коровыми. Однако детальное изучение химического сос-

тава минералов из включений и его сравнение с составом минералов вкрапленников и основной массы лав показывает, что более меланократовые включения являются продуктами ранней кристаллизации магм [7].

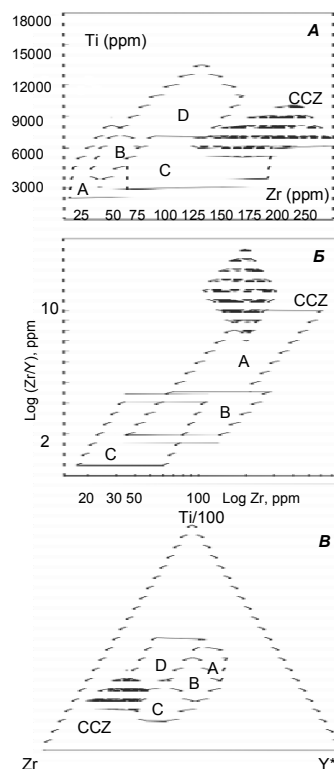


Рис. 6. Поля коллизионных базальтов Кавказа (CCZ) на диаграммах Zr-Ti, Zr-Y, Zr-Ti-Y [7]:

На А: А, В – низкокальциевые толеиты; D, В – базальты океанического дна; А, С – известково-щелочные базальты, по Дж. Пирсу и Дж. Канну [15]; На Б: А – внутриплитные базальты; В – базальты островных дуг; С – базальты срединно-океанических хребтов, по Дж. Пирсу и М. Норри [16]. На В: А, В – низкокальциевые толеиты; В, С – известково-щелочные базальты; В – базальты океанического дна; D – внутриплитные базальты, по Дж. Пирсу и Дж. Канну [15]

Термодинамические расчеты показывают, что глубины генерации базальтовых магм в целом для более северных районов Кавказа близки и составляют 35-40 км ($P=0,95-1,05$ ГПа, $T=850-1100^{\circ}C$), что отвечает гранулит-базитовому слою земной коры на его границе с мантией (рис. 7). К югу (Кафан, оз. Ван) происходит углубление уровня генерации магм ($P=1,1-1,2$ ГПа), который опускается в пределы верхней мантии. Этим объясняется существенное отличие базальтов Восточной Анатолии от пород более северных районов Кавказа в сторону их большей магнезиальности, титанистости и большим сходством с вулканитами континентальных рифтов.

Для дацитов и риолитов Большого Кавказа РТ условия плавления ($P=0,5-0,7$ ГПа, $T=800-1000^{\circ}C$) указывают на глубины порядка 17-25 км. Эти данные подтверждаются геофизическими исследованиями, согласно которым в коре на глубинах 35-45 км и 13-20 км существуют "волноводы" (рис. 8), объясняемые наличием внутрикоровых линз с существенным разогревом, разуплотнением и частичным плавлением горных пород [4; 11]. Вблизи поверхности М на глубинах 55-60 км в мантии под Казбекской группой вулканов также обнаружена линза разуплотненных пород.

С учетом геодинамики коллизионной зоны и химизма вулканитов нами была предложена модель магматизма с ведущей ролью процессов окисления глубинных

трансмагматических флюидов [8]. В отличие от других геодинамических режимов, выплавление первичных магм при континентальной коллизии происходит при сжатии, что и определяет специфику флюидного режима, а также процессы кислотно-основного взаимодей-

ствия флюида, расплава и вмещающих толщ. Окисление флюидов носит взрывной характер, так что на поверхность иногда выносятся жидко-твердо-газовые взвеси, образующие флюидолиты – эндогенные горные породы нового генетического типа.

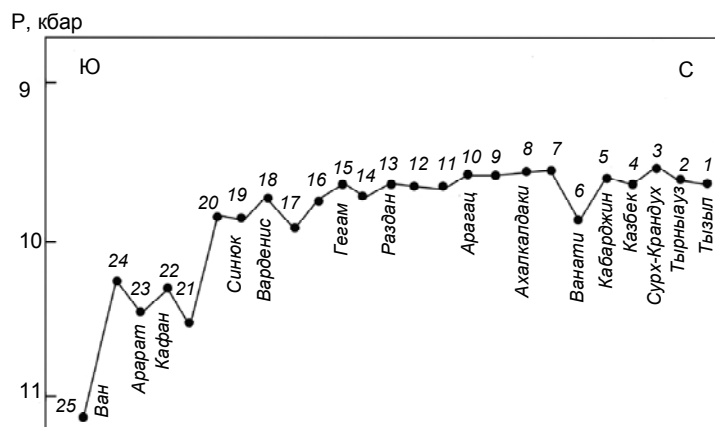


Рис. 7. Рассчитанные давления выплавления базальтов Кавказского сектора [6]



Рис. 8. Линзы разуплотненных пород в недрах Кавказа [11]:

1-4 – зоны разломов: 1 – Локско-Акдамская; 2 – Красносельск-Леджанская; 3 – Севано-Аманская, 4 – Анкабано-Зангезурская. Кружки – эпицентры землетрясений

В обстановке коллизии физико-химические свойства расплавов и химизм магматических пород определяются не только термодинамическими и геодинамическими условиями плавления [1] показали, что термодинамические условия, в которых находились магматические расплавы до их появления на поверхности Земли, претерпели длительную, многоэтапную эволюцию. Большую роль играли процессы ликвации, метасоматические процессы, изменения режима общего давления на расплавы и температуры при их движении к поверхности. Например, расплавы андезит-дацитового состава в процессе эволюции испытывают разогрев (от 750-850°C до 1150°C) и повышение внутреннего давления (от 0,6-0,8 ГПа до 1,5 ГПа), что отражается на химическом составе кристаллизующихся минеральных фаз и вулканитов в целом. Процессы эволюции расплавов существенно влияют на конечный химический состав вулканитов, обнажающихся на поверхности и доступных нашим исследованиям. Из сказанного выше следует, что интерпретация вулканических комплексов, как показателей геодинамических и палеотектонических обстановок в условиях коллизии, нуждается в дальнейших исследованиях и новом обсуждении.

Заключение. В позднекайнозойское время Кавказский регион находился в состоянии общего субмеридионального сжатия, которое продолжается и в настоящее время. К позднему миоцену (11 млн лет тому назад) в

этой части Альпийского пояса замкнулись все бассейны с корой океанского типа и процессы субдукции прекратились, сменившись сильнейшей коллизией, вызванной ускоренным перемещением к северу Аравийской плиты, за счет начавшегося раскрытия Красного моря и жестким упором с севера Евразийской плиты. В результате субмеридионального сжатия сформировалась современная структура Кавказского региона, ведущую роль в которой играли сдвиговые зоны ЮЗ, ЮВ, субширотного простирания и надвиги общекавказской ориентировки. Сдвиговые нарушения играют особую важную роль в современной структуре, так как с ними в поверхностной части земной коры связаны участки присдвиговых растяжений, благоприятные для проявления вулканизма.

Коллизионные вулканиды характеризуется геохимическими чертами, присущими с одной стороны породам субдукционных зон, а с другой – континентальным рифтам. В то же время детальное изучение их химизма позволяет выделить характерные типы вулканитов-индикаторов коллизионного процесса.

Коллизионный вулканизм отличается: 1) отсутствием или слабым проявлением процессов кристаллизационной дифференциации; 2) антидромной направленностью извержений; 3) резким обогащением более основных пород (бедных SiO₂) некогерентными элементами и легкими REE; 4) небольшими глубинами генерации базаль-

товых магм; 5) резкой латеральной неоднородностью химического состава вулканитов и др.

В магматическом петрогенезисе коллизионного этапа развития Кавказа трансмагматические глубинные флюиды играли ведущую роль не только на этапе выплавления магм. В дальнейшем при движении расплавов к поверхности они определяли характер их эволюции.

Перечень использованных источников

1. Демина Л.И., Короновский Н.В., (1988). Эволюция магматических расплавов в условиях континентальной коллизии. *Известия секции наук о Земле РАН*, 1, 106–121.
2. Demina L.I., Koronovskiy N.V., (1998). Evolution of magmatic melts in conditions of continental collision [Evolutsiya magmaticheskikh rasplavov v usloviyakh kontinental'noy kollizii]. *Izvestiya seksii nauk o Zemle RAYEN – Proceedings of the Section of Earth Sciences RAS*, 1, 106–121 (In Russian).
3. Демина Л.И., Симонов Д.А., (1999). Вулканиты как индикаторы процесса континентальной коллизии. *Докл. РАН*, 366, 6, 793–796.
4. Demina L.I., Simonov D.A., (1999). Volcanics as indicators of process of continental collision [Vulkanity kak indykatory protsessy kontinental'noy kollizii]. *Dokl. RAN – Reports RAS*, 366, 6, 793–796 (In Russian).
5. Иванов Д.А., Бубнов С.Н., Волкова В.М. и др., (1993). Изотопный состав стронция и неодима в четвертичных лавах Большого Кавказа в связи с проблемой их петрогенезиса. *Геохимия*, 3, 343–352.
6. Ivanov D.A., Bubnov S.N., Volkova V.M. et al., (1993). The isotopic composition of strontium and neodymium in quaternary lavas of the Greater Caucasus in connection with the problem of their petrogenesis [Izotopnyy sostav strontsiya i neodima v chetvertichnykh lavakh Bol'shogo Kavkaza v svyazi s problemoy ikh petrogenezisa]. *Geokhimiya – Geochemistry*, 3, 343–352 (In Russian).
7. Кенгерли Т.Н., (1995). Новая интерпретация геолого-тектонического строения Юго-Западного Кавказа. Основные проблемы геологического изучения и использования недр Северного Кавказа. *Эссенции, Севкавказгеология*, 302–304.
8. Kengerli T.N., (1995). New interpretation of geological and tectonic structure of the South-Western Caucasus. Major problems exploration and use of mineral resources of the North Caucasus [Novaya interpretatsiya geologo-tektonicheskogo stroeniya Yugo-Zapadnogo Kavkaza. Osnovnyye problemy geologicheskogo izucheniya i ispol'zovaniya neдр Severnogo Kavkaza]. *Sevkavgeologiya Publishing, Yessentuki*, 302–304 (In Russian).
9. Короновский Н.В., (1968). Геологическое строение и история развития вулкана Эльбрус. Оледенение Эльбруса. М.: *Издательство МГУ*, 346.
10. Koronovskiy N.V., (1968). Geological structure and history of development of Volcano Elbrus. Elbrus glaciation [Geologicheskoye stroeniye i istoriya razvitiya vulkana El'brus. Oledneniye El'brusa]. *MGU Publishing, Moscow*, 346 (In Russian).
11. Короновский Н.В., Демина Л.И., (1999). Коллизионный этап развития Кавказского сектора Альпийского складчатого пояса: геодинамика и магматизм. *Геотектоника*, 2, 17–35.
12. Koronovskiy N.V., Demina L.I., (1999). Collisional stage of the Caucasian sector Alpine orogen: geodynamics and magmatism [Kollizionnyy etap razvitiya Kavkazskogo sektora Al'piyskogo skladchatogo

N. Koronovsky, Dr.Sci., Prof.

E-mail: koronovsky@rambler.ru

L. Demina, Ph.D., Leading Researcher

E-mail: lidem06@rambler.ru

Lomonosov Moscow State University

COM-1, Leninskye Gory Str., Moscow, 119991, RF

COLLISIONAL VOLCANISM OF CAUCASIAN SECTOR IN ALPINE FOLDED BELT

Subaerial volcanism within the Caucasian segment of the Alpine fold-and-thrust belt has occurred in overall meridional compression up to the present time. Collisions characteristic of the Late Miocene changed the nature of subduction and caused a complex pattern of extensional stress fields, with SW and SE shear zones, sublatitudinal shears, and thrusts of the Caucasian orientation being predominant. There are singled out meridional compression areas to match local areas of extensional shear zones. Surficial manifestations of volcanism are commonly linked to the environments of local extension into regional area of submeridional compression. Collisional volcanites relating generally to the calc-alkaline series have geochemical features characteristic of both subduction zone rocks and continental rift rocks. The ratio of Si, K, Mg and Ti oxides on the ternary diagram shows collisional volcanites proper to be located between the fields of subductional volcanites and volcanites of continental rifts. Collisional volcanites have distinctive geological features:

- 1) Minor manifestation of fractional crystallizations (if any).
- 2) Antidromic sequence of volcanic eruptions (decrease in the silica content and increase in alkalinity).
- 3) High concentration of non-coherent and LRRE elements in basic rocks.
- 4) Low depths of basaltic magma generation.
- 5) Considerable lateral heterogeneity in the chemical composition of volcanites.

Tholeiites tend to increase southwards, while geodynamic environment evolves in continental rifting. The principal reason for lateral heterogeneity could be found in various types of melting, metasomatism, substratum and crystalline basement, change of pressure-temperature conditions, and magma chambers. Andesite-dacite melts undergo subsequent heating from 750-850°C to 1150°C and an increase in the internal pressure from 0.6-0.8 GPa to 1.5 GPa. The basalts of the Caucasian segment, compared with the basalts of other geodynamic environment, are significantly enriched with Zr, which allows including fields of continental collisional volcanites to common discriminative Zr-Ti, Zr-Y, Zr-Ti-Y diagrams. There is a geochemical distinction between continental collisional volcanites of the Caucasus and suprasubduction rocks of the island arcs – a decrease in LREE content and differentiation shifting from basic to acid rocks.

Key words: collision, volcanism, Caucasian segment, Alpine fold-and-thrust belt.

poyasa: geodinamika i magmatizm]. *Geotektonika – Geotectonics*, 2, 17–35 (In Russian).

7. Короновский Н.В., Демина Л.И., (2004). Магматический петрогенезис коллизионного этапа развития Кавказа. Современные проблемы геологии. *Труды ГИН*, 565, 370–391.

Koronovskiy N.V., Demina L.I., (2004). Igneous petrogenesis collision stage development of the Caucasus. Modern problems of geology [Magmaticheskiy petrogenezis kollizionnogo etapa razvitiya Kavkaza. Sovremennyye problemy geologii]. *Trudy geologicheskogo instituta RAN – Proceedings of the Geological Institute of RAS*, 565, 370–391 (In Russian).

8. Короновский Н.В., Демина Л.И., (1996). Модель коллизионного вулканизма Кавказского сегмента Альпийского пояса. *Доклады РАН*, 350, 4, 519–522.

Koronovskiy N.V., Demina L.I., (1996). Model collisional volcanism of Caucasus segment of the Alpine belt [Model' kollizionnogo vulkanizma Kavkazskogo segmenta Al'piyskogo poyasa]. *Dokl. RAN – Reports RAS*, 350, 4, 519–522 (In Russian).

9. Милановский Е.Е., Короновский Н.В., (1973). Орогенный вулканизм и тектоника Альпийского пояса Евразии. М.: *Недра*, 280 (In Russian).

Milanovskiy Ye.Ye., Koronovskiy N.V., (1973). Orogenic volcanism and tectonics of the Alpine belt of Eurasia [Orogenny vulkanizm i tektonika Al'piyskogo poyasa Yevrazii]. *Nedra Publishing, Moscow*, 280 (In Russian).

10. Попов В.С., Семин В.А., Николаенко Ю.С., (1987). Геохимия новейших вулканитов Кавказа и их происхождение. *Геохимия континентального вулканизма*. М.: *Наука*, 5, 240.

Popov V.S., Semina V.A., Nikolayenko YU.S., (1987). Geochemistry of latest Caucasus volcanics and their origin. *Geochemistry continental volcanism* [Geokhimiya noveyshikh vulkanitov Kavkaza i ikh proiskhozhdeniye. Geokhimiya kontinental'nogo vulkanizma]. *Nauka Publishing, Moscow*, 5, 240 (In Russian).

11. Фельдман И.С., (1996) Дегидратация и электропроводность: предпосылки и следствия. *Геофизические предпосылки и следствия дегидратации земной коры*: Тез. докл. междунар. совещ., 1996, Москва.

Fel'dman I.S., (1996). Dehydration and electrical conductivity: presuppositions and consequences. *Geophysical prerequisites and consequences of crustal dehydration* [Degidratatsiya i elektroprovodnost': predposylki i sledstviya. Geofiz. predposylki i sledstviya degidratatsii zemnoy kory]. Abstracts of the International meeting, Moscow, 1996, (In Russian).

12. Irvine T.N., Barager W.R.A.D., (1971). Chemical classification of the common volcanic rocks. *J. Earth Sci., Canada*, 8, 523–548.

13. Miyashiro A., (1974). Volcanic rock series in island arcs and active continental margin. *Amer. J. of Sci.*, 274, 321–355.

14. Pearce J.A., Bender J.F., De Long S.E. et al., (1990). Genesis of collision volcanism in Eastern Anatolia. *Jour. of Volcanol. and Geotherm. Res., Turkey*, 44, 189–229.

15. Pearce J.A., Cann J.A., (1973). Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 19, 290–300.

16. Pearce J.A., Norry M.J., (1979). Petrogenetic Implications of Ti, Zr, Y and Nb Variations in Volcanic Rocks. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 69, 33–47.

17. Tarney J., Sanders A.D., Mathey D.P. et al., (1981). Geochemical aspects of back-arc spreading in the Scotia Sea and western Pacific. *Phil. Trans. R. Soc., London*, A300, 263–285.

Надійшла до редколегії 01.07.14

М. Короновський, д-р геол.-мінералог. наук, проф.
E-mail: koronovsky@ Rambler.ru
Л. Дьоміна, канд. геол.-мінералог. наук, пров. наук. співроб.
E-mail: lidem06@ Rambler.ru
Московський державний університет імені М.В. Ломоносова
ГСП-1, Ленінські гори, б. 1, м. Москва, 119991, РФ

КОЛІЗІЙНИЙ ВУЛКАНІЗМ КАВКАЗЬКОГО СЕКТОРУ АЛЬПІЙСЬКОГО СКЛАДЧАСТОГО ПОЯСУ

Прояв субаерального вулканізму в межах кавказького сегменту Альпійського складчастого поясу відбувався в умовах загального субмеридіонального стиснення, яке продовжується і нинішнього часу. Усталений до пізнього міоцену колізійний режим, який змінив процеси субдукції, зумовив складну схему поліе напружень, провідну роль в якому відігравали зсувні зони ПдЗ, ПдС, субширотного простягання і насуви загальнокавказького орієнтування. Із зонами субмеридіонального стиснення спряжені ділянки призсувних розтягів. Прояви вулканізму на поверхні повсюдно пов'язані із обстановками локального, місцевого розтягу, який в свою чергу контролюється регіональним полем субмеридіонального стиснення.

Колізійні вулканіти, що відносяться, в цілому, до вапнисто-лужної серії, характеризуються геохімічними рисами, властивими з одного боку породам субдукційних зон, а з іншого – континентальним рифтам. За співвідношенням оксидів Si, K, Mg і Ti на потрібних діаграмах, поля власне колізійних вулканітів розташовуються між полями вулканітів субдукційних зон і континентальних рифтів. Вулканіти-індикатори колізійного процесу характеризуються рядом типових рис:

- 1) Відсутністю або слабким проявом процесів кристалізаційної диференціації;
- 2) Антидромною спрямованістю вивержень (зменшення кременекислотності та підвищення лужності);
- 3) Різким збагаченням більше основних порід (бідних SiO₂) некогерентними елементами і легкими рідкісноземельними;
- 4) Невеликими глибинами генерації базальтових магм;
- 5) Різкою латеральною неоднорідністю хімічного складу вулканітів.

У напрямку на південь зростає толейтова тенденція в хімізмі порід, а геодинамічна обстановка еволюціонує в бік континентального рифтогенезу. Причиною зазначеної неоднорідності є розходження в механізмі плавлення, де головну роль відіграють процеси ліквідації, метасоматичні процеси, характер субстрату (при зміщенні вогнищ магматизму утягувалися гетерогенні, переважно корові, субстрати різного складу), зміни режиму загального тиску на розплави і температури при їх русі до поверхні. Розплави андезит-дацитового складу в процесі еволюції зазнають розігрів (від 750-850°C до 1150°C) і підвищення внутрішнього тиску (від 0,6-0,8 ГПа до 1,5 ГПа).

У порівнянні з базальтами інших геодинамічних обстановок базальти Кавказу істотно збагачені Zr, що дозволяє доповнити загальновідомі діагностичні дискримінаційні діаграми Zr-Ti, Zr-Y, Zr-Ti-Y полями для вулканітів, що утворилися при процесах континентальної колізії. Відмінність колізійних вулканітів Кавказу від "надсубдукційних" порід острівних дуг проявляється у загальному зниженні вмісту легких рідкісноземельних елементів і ступеню їх диференційованості від основних порід до кислих.

Ключові слова: колізії, вулканізм, Кавказький сегмент, Альпійська складчаста область.

УДК 551.21+551.24

В. Шевчук, д-р геол.-мінералог. наук, проф.
E-mail: svgeol@yandex.ua;

А. Василенко, асп.
E-mail: an_vass@ukr.net

Київський національний університет імені Тараса Шевченка
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна

ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК ТЕКТОНІЧНОГО РОЗВИТКУ ТА ПРОЯВІВ НЕОГЕНОВОГО МАГМАТИЗМУ ЗАКАРПАТТЯ

(Рекомендовано членом редакційної колегії, доктором геол.-мінералог. наук, проф. О.І. Лукієнком)

Інтенсивні тектонофізичні дослідження в Закарпатті почалися в другій половині XX століття і використовували кінематичний, а також структурно-парагенетичний аналіз. У ході дослідження Закарпатського прогину був зафіксований ряд субширотних та субмеридіональних тектонічних порушень.

Попередній структурно-парагенетичний аналіз сітки різнопорядкових розломів у межах Закарпаття та прилеглих районів разом із даними про розподіл магматичних центрів у просторі та часі, дозволило запропонувати нову динамо-кінематичну схему неогенової тектоно-магматичної активізації. Згідно з нею у зв'язку з загальним для всієї Карпатської складчасто-покровної системи субмеридіональним стисненням у межах Закарпатського прогину реалізувався структурний парагенезис зони сколювання за умов правого зсуву. Північною межею зони сколювання слугує прямолінійна зона Закарпатського глибинного розлому із північно-західним простяганням та субвертикальним падінням. Південна межа охоплює зону між Припаннонським глибинним розломом та лінією Самош (Сомеш), де зсувні переміщення ускладнювалися, вірогідно, повертанням тектонічних блоків. Дана схема пояснює утворення вулканічних центрів формуванням ешелонованих структур розтягу в межах окресленої зони сколювання.

Механізм проявлення неогенового магматизму Закарпаття розглядається як одна з стадій мезокайнозойського тектонічного розвитку Паннонії. При виділенні стадій окрему увагу приділяється питанню щодо наявності чи відсутності океанічної кори в межах Паннонського басейну Неотетису. На думку авторів, його основним субстратом була стоншена субокеанічна кора, водночас, це не виключає існування невеликого об'єму океанічної кори.

Тектонічний розвиток Паннонії в мезокайнозой описано трьома стадіями. Перша стадія об'єднує субдукційно-обдукційні процеси, друга пов'язується з насувоутворенням Українських Карпат, а третя, відповідно, з формуванням насувно-зсувного механізму релаксації стискальних напружень, що призвело до формування зони сколювання та вулканізму в межах Закарпатського прогину.

Ключові слова: неогеновий вулканізм, вулканічні центри, динамо-кінематична схема, Закарпаття, стадії розвитку.

Вступ. Кайнозойський, головним чином, міоценовий вулканізм Закарпаття був пов'язаний із триваючою колізією і охоплював період близько 10-15 млн р. Його характерними ознаками є великий об'єм пірокластичних (приблизно 20 тис км³), перевага середньокислих лав, антидромний порядок укорінення (від ріолітів, ріодацитів до андезитів, андезито-базальтів), відсутність масштабних гранітних масивів, петрохімічна схожість зі складом континентальної кори [7]. За даними О. Ступки, З. Ляшкевич та ін. [14], перший етап кайнозойського вулканізму характеризувався ареально-тріщинуватим вибуховим надходженням кислих магм і максимально

проявився в Паннонській та Закарпатській западинах, утворивши вулканічні товщі потужністю до 700-1000 м із ігнібритів, ріолітових туфів та пемзо-шлакових потоків (ріодацитова формація). Цими породами заповнена значна частина площі зазначених западин. Другий етап характеризувався більш спокійним виливом андезитових лав, що сформували хребти Вигорлат-Гутин, Оаш, Харгіта та ін. Існує вірогідність, що другий етап відбувся уже в постколізійних умовах, оскільки вулканіти Вигорлат-Гутинського хребта подекуди перекиваються неогенову моласу і недислокований підгальський фліш.