

УДК 552.12,550.42,551(479)

ПЕТРО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ РАЗЛИЧИЯ ПОЗДНЕКАЙНОЗОЙСКИХ ИГНИМБРИТОВ МАЛОГО И БОЛЬШОГО КAVKAZA КАК СЛЕДСТВИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ЭТИХ СТРУКТУР

© 2022 г. А. М. Курчавов*

*Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (ИГЕМ РАН),
Старомонетный пер., 35, Москва, 119017 Россия*

**e-mail: Kurchavov.kam38@yandex.ru*

Поступила в редакцию 08.07.2021 г.

После доработки 19.08.2021 г.

Принята к публикации 25.10.2021 г.

Сравниваются позднекайнозойские игнимбриды Малого (Армения) и Большого Кавказа (Северный Кавказ – Эльбрусский, Нижнечегемский и Верхнечегемский вулканические массивы). Армянские игнимбриды содержат 60–67 SiO₂ мас. %, северокавказские – 67–76 SiO₂ мас. %. Игнимбриды Армении принадлежат к умеренно-щелочным и щелочным образованиям, а Северного Кавказа – к умеренно-щелочным и нормально-щелочным. Первые из них более калиевые, принадлежат к высококалиевой ветви известково-щелочной, частью к шошонитовой петрохимической серии, а северокавказские игнимбриды относятся к высококалиевой ветви известково-щелочной петрохимической серии, локализуясь близ ее границы с низкокалиевой ветвью. Данные игнимбриды различаются также содержаниями микроэлементов, РЗЭ и изотопными метками. Указанные отличия игнимбридов Армении и Северного Кавказа определяются различной тектоно-магматической эволюцией регионов и соответственно различным состоянием их астеносферы.

Ключевые слова: Малый Кавказ, Армения, Большой Кавказ, Эльбрусский вулканический массив, Чегемские массивы, поздний кайнозой, игнимбриды, фьямме, мантия

DOI: 10.31857/S0203030622010047

ВВЕДЕНИЕ

В пределах Малого Кавказа (Армения) и Большого Кавказа, на его северном склоне (Эльбрусский, Нижнечегемский и Верхнечегемский вулканические массивы), выделяется несколько вспышек интенсивного игнимбритового магматизма. В позднем эоцене–олигоцене, а затем в миоцене игнимбриды формировались в Малокавказской провинции, в плиоцене – преимущественно на Большом Кавказе, в четвертичное время – на Большом и Малом Кавказе.

Данная статья посвящена сравнению позднекайнозойских игнимбридов Малого и Большого Кавказа. Они существенно различаются по своим петро-геохимическим параметрам, однако сравнительные исследования по выяснению причины этого явления до сих пор не проводились.

ФОРМУЛИРОВКА НАУЧНОЙ ЗАДАЧИ

Цель данной работы – сравнительный анализ состава позднекайнозойских игнимбридов дан-

ных регионов для выявления общих характерных особенностей этих своеобразных пород и связи различий их петро-геохимических характеристик с геотектоническими и геодинамическими условиями формирования регионов.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Кроме опубликованных материалов по общему химическому составу игнимбридов, содержанию микроэлементов и изотопным особенностям данных пород Армении и Северного Кавказа, использован новый обильный материал, который в последнее время был получен в Лаборатории анализа минерального вещества ИГЕМ РАН. Определения содержаний петрогенных элементов и концентраций V, Cr, Zn, Rb, Sr, Y, Zr, Nb и Ba в породах сделаны А.И. Якушевым рентгено-флюоресцентным методом на спектрометре волновой дисперсии (модель Axios mAX – PANalytical, Нидерланды, 2012 г.) и на спектрометре PW-2400 производства компании Philips Analytical B.V. При калибровке спектрометра использованы от-

раслевые и государственные стандартные образцы химического состава горных пород. Подготовка препаратов к измерениям в спектрометре выполнена путем высокоскоростного плавления материала проб в индукционной печи с боратами лития при температуре 1200°C. Потери при прокаливании (п.п.п.) определяли гравиметрическим методом при температуре 1000°C. Суммарное содержание железа в пробах определено в форме Fe₂O₃ общ. вне зависимости от действительного валентного состояния. Погрешности анализа составляли 1–5 отн. % для элементов с концентрациями выше 0.5 мас. % и до 12 отн. % ниже 0.5 мас. %.

Определения микро- и редкоземельных элементов проводилось Я.В. Бычковой методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) на масс-спектрометре серии XII ICP-MS Thermo Scientific. Вскрытие образцов осуществлялось по методике кислотного разложения. Калибровка чувствительности прибора осуществлялась с помощью стандартных растворов (ICP-MS-68A, NPS, растворы А и В), включающих все анализируемые в пробах элементы. Правильность получаемых результатов контролировалась систематическими анализами стандартных аттестованных образцов BHVO-2 и SOQ-1, разложенных одновременно с серией исследуемых проб. Пределы обнаружения (ПО) для РЗЭ составляли 0.02–0.03 мкг/г; погрешности анализа составляли 1–3 отн. %.

Использование данных одной лаборатории позволило надежнее выявить региональные особенности состава игнимбритов и с большим основанием скоррелировать их со спецификой геотектонической и геодинамической истории развития регионов.

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ И СОСТАВА ИГНИМБРИТОВ АРМЕНИИ И СЕВЕРНОГО КAVКАЗА

Игнимбриды Армении

На севере Армении (область Лори, район г. Ташир, бассейн рек Дзорагет, Дебед) в пределах Джавахетской неовулканической области распространены позднеэоцен-олигоценые ультракалийевые риодацитовые игнимбриды в ассоциации с известково-щелочными вулканидами, трахитами, шошонитами и абсарокитами [Гушин, 1994]. По изотопно-геохронологическим данным игнимбритовый вулканизм закончился 29.7 ± 1.5 млн лет назад [Демирчян, 2009]. Вторая вспышка игнимбритового вулканизма в Армении произошла в миоцене [Габриелян, 1964] в связи с формированием Елпинского вулканического комплекса, локализованного в Варденисской неовулканической области (бассейн рек Зова-

шен, Хортун, Елпин) [Асланян, 1958; Качурин и др., 1975]. Верхний возрастной предел развития вулканизма датирован в 12.0–12.8 млн лет назад [Волков и др., 1985]. В 2015 г. нами впервые были здесь обнаружены игнимбриды, что позволило наметить новую фазу игнимбритового вулканизма в геологической истории Малого Кавказа.

Наиболее же масштабное образование игнимбритов на Малом Кавказе произошло в четвертичное время, в связи с активностью Арагацского вулканического центра. В конце XIX в. А. Абигом здесь впервые были выделены “артиксские туфолавы” [Абих, 1899], которые позднее были отнесены А.Н. Заварицким [Заварицкий, 1947] к типичным игнимбридам. Данные образования изучались многими исследователями. Возрастной интервал их формирования с 0.90 по 0.65 млн лет, возможно чуть моложе [Меликсетян, 2012; Gevorgyan et al., 2018] (рис. 1).

Последовательность формирования толщи позднекайнозойских игнимбритов и их петрографические черты подробно рассмотрены в работе [Gevorgyan et al., 2018]. Отметим главные особенности этих образований. Общая мощность толщи игнимбритов около 80 м. Залегают они субгоризонтально. Цвет пород черный, темно-серый, палево-бурый разных оттенков. Для широко известных артикских игнимбритов, занимающих срединное положение в разрезе, характерен буроватый цвет светлых тонов с сероватыми или розоватыми оттенками. Общая черта пород – многочисленные уплощенные обособления с расслоенными окончаниями – фьямме, которые погружены в стекловатый флюидальный лавоподобный базис, что явилось основанием А. Абиху к отнесению данных пород к туфолавам. Обращает на себя внимание, что у многих фьямме, особенно у более крупных, отчетливо выражена эндоконтактная зона более тонкого строения. Это явление присуще наиболее ранним фьяммевидным обособлениям [Курчавов, 2009]. Нередко фьяммевидные обособления образуют завихрения, указывающие на течение формирующего игнимбриды расплава (рис. 2а). Среди вкрапленников преобладает средне-кислый плагиоклаз, в подчиненном количестве отмечен пироксен, ромбический и моноклинный, а также роговая обманка.

По валовому химическому составу игнимбриды Армении варьируют в пределах 54.55–66.22 мас. % SiO₂ (табл. 1). Состав же фьяммевидных обособлений меняется в диапазоне: от 57 до 66.4 мас. % SiO₂. При этом в каждом конкретном случае эти вариации коррелируются с валовым составом породы. Например, близ пос. Бюрокан содержание SiO₂ в валовых пробах игнимбритов составляет (мас. %) 62.38–64.24, Na₂O – 4.73, K₂O – 3.57–4.00, а во фьямме SiO₂ варьирует в пределах 60.93–65.83, Na₂O – 4.64–6.11, K₂O – от

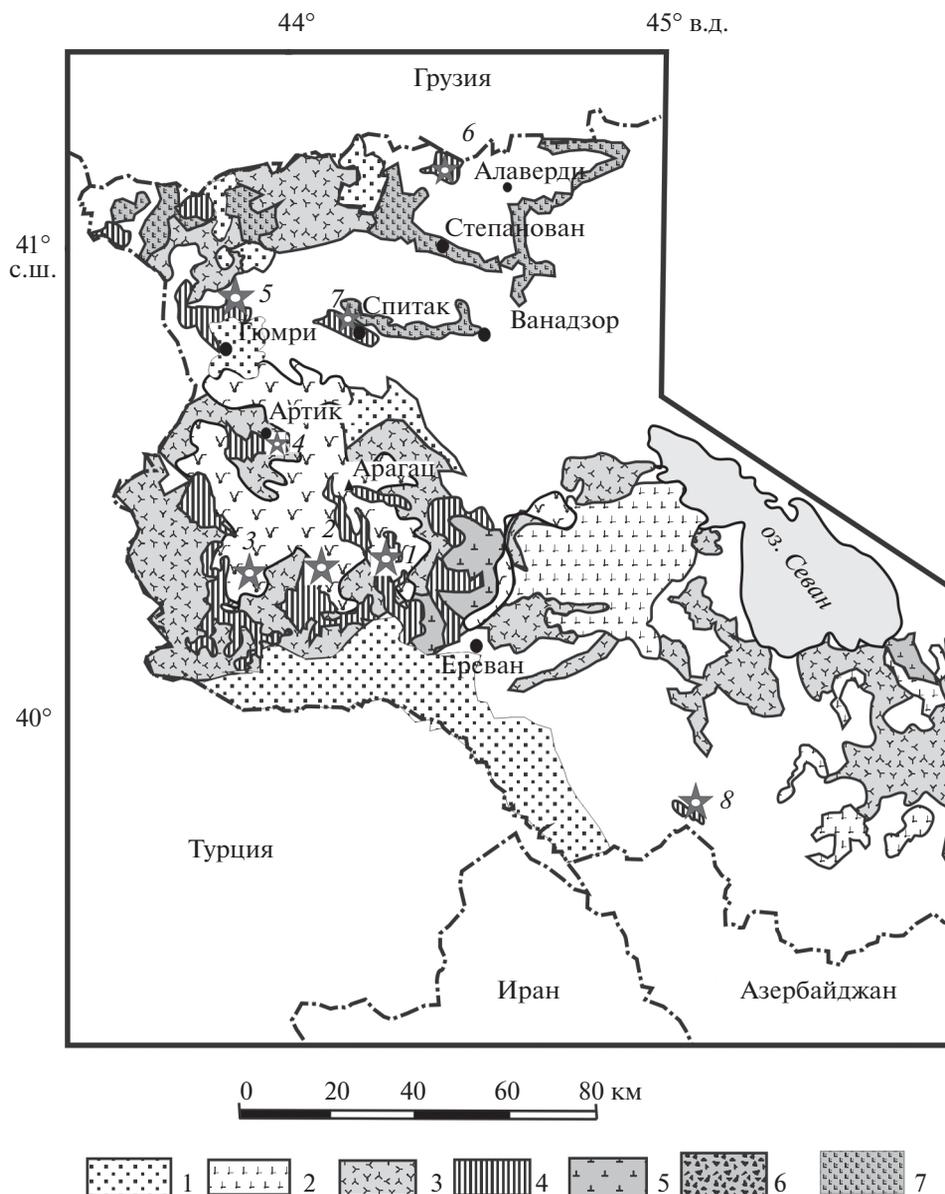


Рис. 1. Проявления позднекайнозойских вулканитов Армении, по [Джрбашян и др., 2012] с изменениями.

1 – голоцен – современный – аллювиальные, делювиальные, элювиальные, пролювиальные отложения, галька, песок, суглинки, щебень; 2 – голоцен – верхний неоплейстоцен – трахибазальтовые, базальт-трахиандезитовые, трахиандезитовые лавовые потоки; 3 – неоплейстоцен – верхний эоплейстоцен – трахибазальтовые, базальт – трахиандезитовые, базанитовые, трахиандезитовые, дацитовые лавовые потоки; 4 – нижний неоплейстоцен – игнимбриды, туфы; 5 – верхний плиоцен–эоплейстоцен (верхняя часть) – базальт – трахиандезитовые, трахиандезитовые, трахидацитовые лавовые потоки; 6 – верхний плиоцен–эоплейстоцен (нижняя часть) – туфобрекчии, туфоконгломераты, лавобрекчии; 7 – верхний плиоцен – долеритовые базальты, трахибазальты.

Звездочками показаны места изучения игнимбридов неоплейстоценовых: 1 – окрестности пос. Бюрокан и с. Аштарак, 2 – близ г. Талин у с. Кохнадюр, 3 – район с. Мастара и с. Хатсагашен, 4 – окрестности Артик и Пемзошен, 5 – окрестности г. Гюмри (у с. Капс и с. Джархур), 6 – окрестности с. Ташир, ультракалиевые риодацитовые игнимбриды с возрастом около 27 млн лет, 7 – близ г. Спитак (в 7 км западнее Спитака у с. Гогаран на левобережье р. Чичкан), 8 – игнимбриды близ с. Елпин (в 100 км юго-восточнее Еревана), возраст около 12 млн лет.

3.77 до 5.09 (см. табл. 1, анализы 501–502/2). У с. Кахнадюр, близ города Талин, состав игнимбридов отвечает (мас. %) SiO_2 – 63.56–65.19, Na_2O – 4.79–4.95, K_2O – 3.54–4.93, а заключенные в них фьямме содержат SiO_2 в пределах 63.91–66.42,

Na_2O – 4.94–5.42, K_2O – 3.53–4.57. В окрестностях селения Артик содержания (мас. %) SiO_2 в валовых пробах игнимбридов меняются от 61.55 до 65.12, Na_2O – 5.04–5.50, K_2O – от 3.79 до 4.51, а во фьямме SiO_2 варьирует от 56.96 до 66.01, Na_2O –

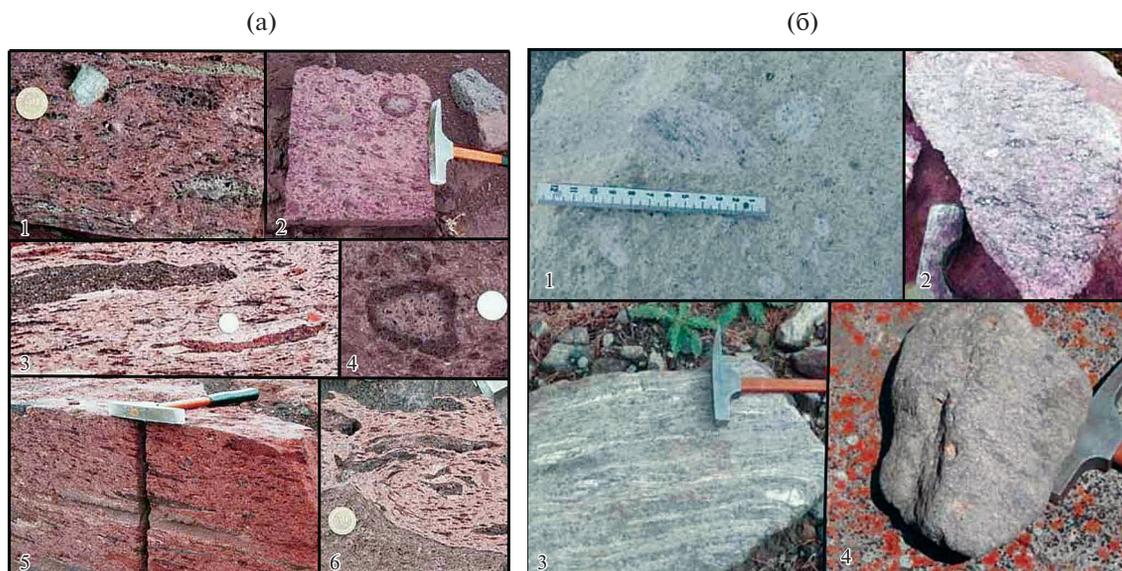


Рис. 2. Фотографии игнимбритов Армении (а) и Северного Кавказа (б). Фото А.М. Курчавова. а – 1 – облик пород близ с. Бюракан, 2 – близ с. Кахнадюр, 3, 5 – район с. Артик: общий вид текстуры пород, 2, 4 – фьямме с четко выраженной эндоконтактной зоной, 6 – вихревое расположение полосок (фьямме), указывающее на течение расплава; б – игнимбриты Нижнечегемского массива: 1 – левобережье р. Баксан у с. Заюково, 2 – правобережье р. Баксан у с. Заюково и Верхнечегемского массива, 3, 4 – левобережье верховья р. Чегем от селения Эль-Тюбю и выше по течению р. Чегем.

3.84–5.35, а K_2O – от 1.65 до 4.65 (см. табл. 1, анализы 507–510/6).

По своим петрохимическим особенностям игнимбриты Армении относятся исключительно к субщелочным разностям, а по содержанию K_2O принадлежат к высококалийной ветви известково-щелочной серии и частью к шошонитовой петрохимической серии (рис. 3).

Содержания (ppm) микроэлементов в игнимбритах Армении варьируют в широких пределах (табл. 2). Так, для Zn они колеблются от 28 до 223, V – 43–80, Rb – 15–82, Sr – от 50 до 381, Zr – 83–381, Ba – 467–823, Y – 11–30, U – 0.8–8.6, Th – 4.39–13, Nb – 24–32, Li – 13–34, Mo – 2–6.1, Hf – 1.2–9.

Суммарное содержание редкоземельных элементов в породах меняется от 89 до 211 ppm (табл. 3). При этом, легкие элементы резко преобладают над тяжелыми: La/Yb составляют от 12.7 до 24.8.

Игнимбриты Северного Кавказа

Игнимбриты Северного Кавказа сконцентрированы, главным образом, в пределах Эльбрусской неовулканической области. Здесь они перекрывают юрско-плиоценовые отложения чехла Скифской платформы (рис. 4).

Плиоценовые игнимбриты и ассоциированные с ними пирокластические образования входят в состав разрезов Нижне- и Верхнечегемского, а также Тырнаузского вулканических массивов, а

четвертичные – Эльбрусского вулканического центра [Чернышев и др., 2014].

В конце среднего плиоцена в верховьях р. Чегем (Ar^{40}/Ar^{39} метод, 2.8 млн лет [Gazis et al., 1995], U–Pb возраст пород по цирконам методом SHRIMP, 2.92 млн лет [Bindeman et al., 2021]) возникла Верхнечегемская кальдера. Кремнекислые игнимбриты и ассоциированные с ними туфы образуют здесь толщу мощностью более 2 км, особенностью которой является непрерывность разреза и практическое отсутствие следов размыва. Такой же возраст (2.8 млн лет, по [Gazis et al., 1995]) имеют игнимбриты и туфы Нижнечегемского массива, расположенного в низовьях рек Чегем и Баксан. В среднем–позднем плиоцене (примерно 3.0–1.8 млн лет назад, K/Ar метод [Чернышев и др., 2014]) действовал Тырнаузский вулканический центр в южной части Эльбрусской неовулканической области, протягивающейся от верхнего течения р. Баксан до истоков р. Кубань и ее правых притоков. Продукты извержений этого возраста (игнимбриты и ассоциированные с ними пирокластические образования) обнажаются на горе Тузлук (левый борт долины р. Малка), на перевале Ирикчат (пик Липаритовый), в истоках р. Бирджалысу, в низах вулканогенного разреза района ледника Уллукол.

Один из крупнейших очагов четвертичного магматизма Европы – Эльбрусский неовулканический центр – расположен в водораздельной части бассейнов рек Кубань, Малка и Баксан. Нача-

Таблица 1. Содержание (мас. %) петрогенных элементов в игнимбритах Армении

| Образцы | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ | S | ппп | Сумма |
|-----------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|------|-------------------|------------------|-------------------------------|------|------|-------|
| AM-01/15 | 61.51 | 3.38 | 16.30 | 4.96 | 0.083 | 1.20 | 3.61 | 4.56 | 3.57 | 0.21 | | 0.33 | 99.71 |
| Am-3/15 | 62.86 | 0.98 | 15.95 | 4.50 | 0.092 | 1.44 | 3.42 | 4.54 | 3.50 | 0.26 | 0.01 | 2.16 | 99.71 |
| Aya-15/14 | 63.27 | 0.88 | 16.61 | 4.06 | 0.080 | 1.32 | 3.14 | 4.49 | 3.63 | 0.24 | 0.01 | 1.95 | 99.68 |
| Aya-16/14 | 64.78 | 0.88 | 16.82 | 3.79 | 0.078 | 1.12 | 2.89 | 4.78 | 3.99 | 0.23 | 0.01 | 0.34 | 99.71 |
| Aya-17/14 | 64.68 | 0.83 | 15.75 | 3.98 | 0.086 | 1.40 | 3.20 | 4.29 | 3.25 | 0.24 | | 1.99 | 99.70 |
| 502 | 62.40 | 0.97 | 16.06 | 4.43 | 0.09 | 1.49 | 3.38 | 4.74 | 3.58 | 0.24 | | 2.35 | 99.73 |
| 501 | 64.20 | 0.87 | 16.11 | 4.02 | 0.08 | 1.13 | 2.27 | 4.72 | 4.00 | 0.21 | | 2.06 | 99.67 |
| 502/1 | 60.90 | 0.94 | 15.18 | 4.05 | 0.10 | 1.23 | 3.10 | 6.11 | 4.50 | 0.21 | | 3.34 | 99.66 |
| 502/2 | 62.90 | 0.88 | 15.42 | 3.84 | 0.08 | 1.13 | 2.72 | 5.19 | 4.17 | 0.21 | | 3.20 | 99.74 |
| 501/1 | 64.20 | 0.90 | 16.32 | 4.36 | 0.08 | 1.18 | 2.69 | 4.64 | 3.77 | 0.22 | | 1.35 | 99.71 |
| 501/3 | 65.60 | 0.86 | 15.88 | 3.42 | 0.08 | 0.88 | 1.89 | 5.25 | 5.09 | 0.21 | | 0.58 | 99.74 |
| 501/5 | 65.70 | 0.89 | 15.83 | 3.82 | 0.08 | 1.03 | 2.21 | 5.02 | 4.26 | 0.21 | | 0.63 | 99.68 |
| 501/4 | 65.80 | 0.81 | 16.06 | 3.4 | 0.07 | 0.94 | 2.51 | 4.97 | 3.90 | 0.20 | | 1.01 | 99.67 |
| Aya-19/14 | 61.27 | 0.98 | 16.61 | 4.80 | 0.092 | 1.67 | 3.75 | 4.28 | 3.40 | 0.34 | 0.01 | 2.49 | 99.69 |
| Aya-20/14 | 63.77 | 0.91 | 15.13 | 4.68 | 0.094 | 1.67 | 3.57 | 4.42 | 3.09 | 0.26 | | 2.12 | 99.71 |
| Aya-21/14 | 62.27 | 0.89 | 16.58 | 4.20 | 0.085 | 1.36 | 3.33 | 4.53 | 3.54 | 0.25 | 0.01 | 2.62 | 99.67 |
| Aya-24/14 | 66.22 | 0.84 | 15.36 | 3.95 | 0.084 | 1.38 | 3.07 | 4.73 | 3.37 | 0.26 | | 0.44 | 99.70 |
| Aya-25/14 | 54.55 | 0.84 | 13.96 | 3.67 | 0.073 | 1.18 | 9.78 | 3.85 | 3.38 | 0.23 | 0.07 | 8.15 | 99.73 |
| AM-05/15 | 62.30 | 1.03 | 16.78 | 5.54 | 0.089 | 1.32 | 3.83 | 4.64 | 3.67 | 0.26 | | 0.24 | 99.70 |
| Am-06/15 | 65.55 | 0.88 | 15.63 | 3.79 | 0.061 | 1.00 | 2.58 | 5.00 | 4.18 | 0.18 | 0.01 | 0.85 | 99.71 |
| AM-07/15 | 66.05 | 0.81 | 16.05 | 3.90 | 0.055 | 0.75 | 2.70 | 4.53 | 4.18 | 0.22 | | 0.47 | 99.72 |
| Am-08/15 | 65.46 | 0.87 | 15.84 | 3.72 | 0.067 | 1.08 | 2.80 | 5.21 | 4.06 | 0.22 | 0.01 | 0.57 | 99.91 |
| AM-09/15 | 65.06 | 0.82 | 16.26 | 4.54 | 0.063 | 0.85 | 2.67 | 4.62 | 4.09 | 0.20 | | 0.53 | 99.70 |
| 503a | 63.60 | 1.02 | 16.37 | 4.59 | 0.09 | 1.45 | 3.35 | 4.95 | 3.54 | 0.3 | | 0.48 | 99.74 |
| 503 | 65.20 | 0.92 | 15.37 | 3.75 | 0.06 | 0.96 | 2.24 | 4.79 | 4.93 | 0.27 | | 1.24 | 99.73 |
| 503/3 | 63.90 | 0.79 | 16.96 | 3.56 | 0.06 | 0.86 | 2.9 | 5.42 | 4.43 | 0.22 | | 0.61 | 99.71 |
| 503/1 | 63.90 | 0.94 | 16.44 | 4.22 | 0.08 | 1.42 | 3.45 | 4.95 | 3.53 | 0.24 | | 0.51 | 99.68 |
| 503/2 | 65.70 | 0.83 | 16.00 | 3.52 | 0.06 | 0.96 | 2.59 | 4.94 | 4.04 | 0.21 | | 0.91 | 99.76 |
| 503/4 | 66.40 | 0.87 | 15.38 | 3.41 | 0.06 | 0.91 | 1.83 | 5.04 | 4.57 | 0.2 | | 1.01 | 99.68 |
| AM-10/15 | 64.16 | 0.95 | 15.96 | 4.29 | 0.079 | 1.24 | 2.99 | 5.15 | 4.01 | 0.23 | | 0.48 | 99/54 |
| AM-11/15 | 65.35 | 0.85 | 15.71 | 4.09 | 0.071 | 0.75 | 2.64 | 4.47 | 4.26 | 0.19 | | 1.31 | 99/69 |
| AM-12/15 | 65.95 | 0.83 | 16.03 | 3.99 | 0.064 | 0.75 | 2.67 | 4.65 | 4.16 | 0.21 | | 0.40 | 99.70 |
| Am-14/15 | 65.42 | 0.86 | 15.91 | 3.70 | 0.078 | 0.97 | 2.62 | 5.05 | 4.09 | 0.21 | 0.01 | 0.80 | 99.72 |
| AM-15/15 | 63.18 | 0.94 | 16.98 | 4.91 | 0.087 | 1.22 | 3.70 | 4.64 | 3.62 | 0.25 | | 0.17 | 99.70 |
| 505/2 | 63.70 | 1.05 | 16.18 | 4.61 | 0.09 | 1.40 | 3.21 | 5.04 | 3.65 | 0.27 | | 0.54 | 99.74 |
| 505 | 64.00 | 1.05 | 15.90 | 4.39 | 0.09 | 1.34 | 2.93 | 5.00 | 3.80 | 0.26 | | 0.97 | 99.73 |
| 505/3 | 64.90 | 0.81 | 16.60 | 3.01 | 0.06 | 1.01 | 2.75 | 5.33 | 4.20 | 0.21 | | 0.85 | 99.73 |
| AM-20/15 | 63.45 | 0.93 | 16.60 | 4.72 | 0.081 | 1.19 | 3.60 | 4.67 | 3.79 | 0.23 | | 0.45 | 99.71 |
| AM-21/15 | 65.96 | 0.83 | 16.18 | 3.99 | 0.071 | 0.71 | 2.81 | 4.48 | 4.07 | 0.20 | | 0.39 | 99.69 |
| Am-22/15 | 65.42 | 0.89 | 16.11 | 3.94 | 0.080 | 1.17 | 2.94 | 5.01 | 3.91 | 0.25 | 0.01 | | 99.73 |
| AM-23/15 | 59.21 | 0.99 | 16.98 | 6.78 | 0.103 | 2.46 | 5.65 | 4.01 | 2.59 | 0.25 | | 0.70 | 99/72 |
| AM-24/15 | 63.87 | 0.87 | 16.96 | 4.57 | 0.079 | 0.97 | 3.03 | 4.74 | 3.93 | 0.19 | | 0.49 | 99.70 |
| 507 | 64.80 | 0.93 | 16.03 | 4.08 | 0.09 | 1.25 | 2.76 | 5.15 | 4.03 | 0.24 | | 0.32 | 99.68 |
| 507/2 | 65.90 | 0.85 | 15.88 | 3.64 | 0.07 | 0.96 | 2.40 | 5.03 | 4.1 | 0.2 | | 0.67 | 99.70 |
| 507/4 | 58.80 | 1.32 | 15.94 | 5.86 | 0.16 | 2.16 | 4.64 | 5.35 | 3.09 | 0.54 | | 1.87 | 99.73 |

Таблица 1. Окончание

| Образцы | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ | S | ппп | Сумма |
|-----------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|------|-------------------|------------------|-------------------------------|------|------|--------|
| 507/1 | 65.30 | 0.85 | 16.52 | 3.49 | 0.07 | 0.99 | 2.65 | 5.05 | 3.85 | 0.2 | | 0.72 | 99.69 |
| 507/3 | 59.00 | 1.30 | 15.77 | 5.90 | 0.16 | 2.05 | 4.45 | 5.35 | 3.13 | 0.53 | | 2.11 | 99.75 |
| 508 | 61.60 | 1.04 | 15.48 | 4.56 | 0.10 | 1.63 | 3.93 | 5.50 | 4.51 | 0.27 | | 1.15 | 99.78 |
| 508/1 | 64.50 | 0.82 | 16.00 | 3.48 | 0.07 | 1.16 | 3.90 | 4.92 | 3.78 | 0.21 | | 0.88 | 99.72 |
| 508/2 | 65.10 | 0.94 | 16.02 | 4.10 | 0.09 | 1.21 | 2.88 | 5.11 | 3.94 | 0.25 | | 0.03 | 99.67 |
| 509 | 64.50 | 0.93 | 16.36 | 4.12 | 0.09 | 1.31 | 3.13 | 5.04 | 3.79 | 0.22 | | 0.22 | 99.71 |
| 509/4 | 65.70 | 0.91 | 15.99 | 3.93 | 0.08 | 1.01 | 2.50 | 5.04 | 4.11 | 0.22 | | 0.2 | 99.69 |
| 509/2 | 56.40 | 1.01 | 17.40 | 6.99 | 0.12 | 3.74 | 7.13 | 3.84 | 1.65 | 0.3 | | 1.1 | 99.68 |
| AM-25/15 | 62.76 | 1.01 | 16.24 | 6.07 | 0.091 | 1.23 | 3.63 | 4.61 | 3.61 | 0.27 | | 0.19 | 99.71 |
| AM-26/15 | 66.19 | 0.80 | 16.20 | 3.92 | 0.062 | 0.79 | 2.57 | 4.50 | 4.27 | 0.20 | | 0.21 | 99.71 |
| AM-27/15 | 64.82 | 0.81 | 16.49 | 4.27 | 0.067 | 0.82 | 2.75 | 4.64 | 4.18 | 0.20 | | 0.66 | 99.71 |
| 510/6 | 57.00 | 1.41 | 17.20 | 7.02 | 0.14 | 2.23 | 4.91 | 5.33 | 2.55 | 0.58 | | 1.48 | 99.85 |
| 510 | 63.10 | 1.05 | 16.09 | 4.72 | 0.09 | 1.44 | 3.33 | 5.00 | 3.64 | 0.31 | | 0.89 | 99.66 |
| 510/1 | 64.40 | 0.91 | 15.83 | 4.57 | 0.09 | 0.82 | 3.41 | 5.08 | 3.61 | 0.27 | | 0.63 | 99.62 |
| 510/56 | 64.80 | 0.89 | 15.68 | 4.19 | 0.08 | 1.29 | 2.68 | 5.01 | 4.01 | 0.25 | | 0.80 | 99.68 |
| 510/2 | 65.30 | 0.85 | 16.28 | 3.55 | 0.07 | 1.02 | 2.83 | 5.02 | 4.25 | 0.20 | | 0.59 | 99.96 |
| 510/4 | 65.90 | 0.86 | 16.05 | 3.37 | 0.06 | 0.84 | 2.06 | 4.98 | 4.65 | 0.19 | | 0.77 | 99.73 |
| 510/3 | 66.00 | 0.87 | 16.10 | 3.35 | 0.06 | 0.84 | 2.04 | 4.85 | 4.61 | 0.19 | | 0.98 | 99.89 |
| AM-29/15 | 62.76 | 0.94 | 15.86 | 5.08 | 0.085 | 1.21 | 3.05 | 4.11 | 3.84 | 0.24 | | 2.51 | 99.69 |
| AM-32/15 | 62.30 | 0.97 | 16.02 | 5.00 | 0.085 | 1.22 | 3.43 | 4.41 | 3.67 | 0.23 | | 2.36 | 99.70 |
| 511 | 63.62 | 0.97 | 15.67 | 4.15 | 0.09 | 1.27 | 3.03 | 4.75 | 3.77 | 0.24 | | 2.14 | 99.70 |
| 512 | 59.00 | 1.07 | 16.58 | 4.91 | 0.10 | 1.98 | 3.83 | 5.21 | 3.66 | 0.26 | | 3.11 | 99.71 |
| AM-37/15 | 60.88 | 0.98 | 16.16 | 5.39 | 0.096 | 1.50 | 4.37 | 4.22 | 3.40 | 0.23 | 0.05 | 2.42 | 99.70 |
| Am-38/15д | 62.35 | 1.04 | 16.09 | 4.63 | 0.099 | 1.54 | 3.44 | 5.09 | 4.05 | 0.27 | 0.01 | 2.71 | 101.32 |
| Am-38/15 | 63.18 | 0.97 | 15.96 | 4.30 | 0.092 | 1.30 | 3.17 | 4.32 | 3.76 | 0.25 | 0.02 | 2.38 | 99.70 |
| AM-39/15 | 61.22 | 0.99 | 16.41 | 5.30 | 0.087 | 1.26 | 3.71 | 4.22 | 3.63 | 0.26 | | 2.58 | 99.67 |
| 514 | 63.60 | 0.95 | 15.76 | 4.14 | 0.09 | 4.14 | 3.02 | 4.73 | 3.91 | 0.23 | | 1.96 | 102.53 |
| 514/1 | 63.60 | 0.93 | 16.08 | 3.85 | 0.08 | 3.85 | 2.83 | 4.75 | 3.83 | 0.23 | | 2.35 | 102.38 |
| 515 | 62.50 | 0.99 | 15.46 | 4.31 | 0.09 | 4.31 | 3.63 | 4.48 | 4.52 | 0.37 | | 2.08 | 102.74 |

Примечания. Содержание Fe₂O₃ включает в себя оксиды двух- и трехвалентного железа. Позднеплиоценовые игнимбриты. *Арагацкий комплекс*: карьер близ села Антарут (AM-01/15, AM-3/15, Аya-15/14, Аya-16/14, Аya-17/14, 502, 501 – валовый состав игнимбритов; 502/1, 2 – фьямме в игнимбрите 502, 501/1,3,5,4 – фьямме в игнимбрите 501); карьер близ села Арагацотн (Аya-19/14, Аya-20/14, Аya-21/14 – валовый состав игнимбритов); карьер у села Кахнабюр близ города Талин (Аya-24/14, Аya-25/14, AM-05/15 – валовый состав игнимбритов; AM-06/15, AM-07/15, AM-08/15 – фьямме; 503a, 503, 503/3,1,2,4 – фьямме в игнимбрите 503); район села Мастара (AM-10/15 – валовый состав, AM-11/15, AM-12 – фьямме; AM-14/15 – валовый состав); район села Ацашен (AM-15/15 – валовый состав); карьер у села Хатсагашен (505/2, 505 – валовый состав; 505/3 – фьямме в игнимбрите 505); огромный карьер у восточной окраины села Артик (AM-20/15 – валовый состав, AM-21/15, AM-22/15 – пемзювидные фьямме, 507 – валовый состав; 507/2, 4, 1,3 – фьямме в игнимбрите 507); карьер южнее села Артик (AM-23/15 – фьямме, AM-24/15, 508, 508/2, 509 – валовый состав; 508/1 – фьямме в 508; 509/4, 2 – фьямме в 509); карьер между селами Туфашен и Пемзашен (AM-25/15 – валовый состав, AM-26/15 – черное фьямме, AM-27 – пористое фьямме из AM-25/15); карьер у села Пемзошен (510 – валовый состав игнимбрита; 510/6, 510/1, 56, 2, 4 – фьямме в 510); карьер “Капс” у села Джрадзор близ города Гюмри (AM-29/15, AM-32/15, 511, 512 – черные игнимбриты, валовые пробы). *Памбакский комплекс*: бассейн реки Памбак, близ села Сараарт (AM-37/15, AM-38/15д, AM-38/15, 514, 514/1, 515 – валовый состав игнимбритов черного цвета). Сделанные анализы AM-01/15–AM-43/15, Аya-3/14–Аya-25/14 – из коллекции С.Н. Бубнова, анализы 501–516 – А.М. Курчавова.

ло магматической активности приходится на эпоху эоцено (950–900 тыс. лет назад) излияниями лав в его восточной части (Тызыльский поток, вулканы Сылтран и Ташлысырт) [Лебедев и др.,

2010]. Раннеэоценовые дацитовые игнимбриты западной части Приэльбрусья и ассоциированные с ними вулканы являются продуктами активности вулканов Палео-Эльбрус,

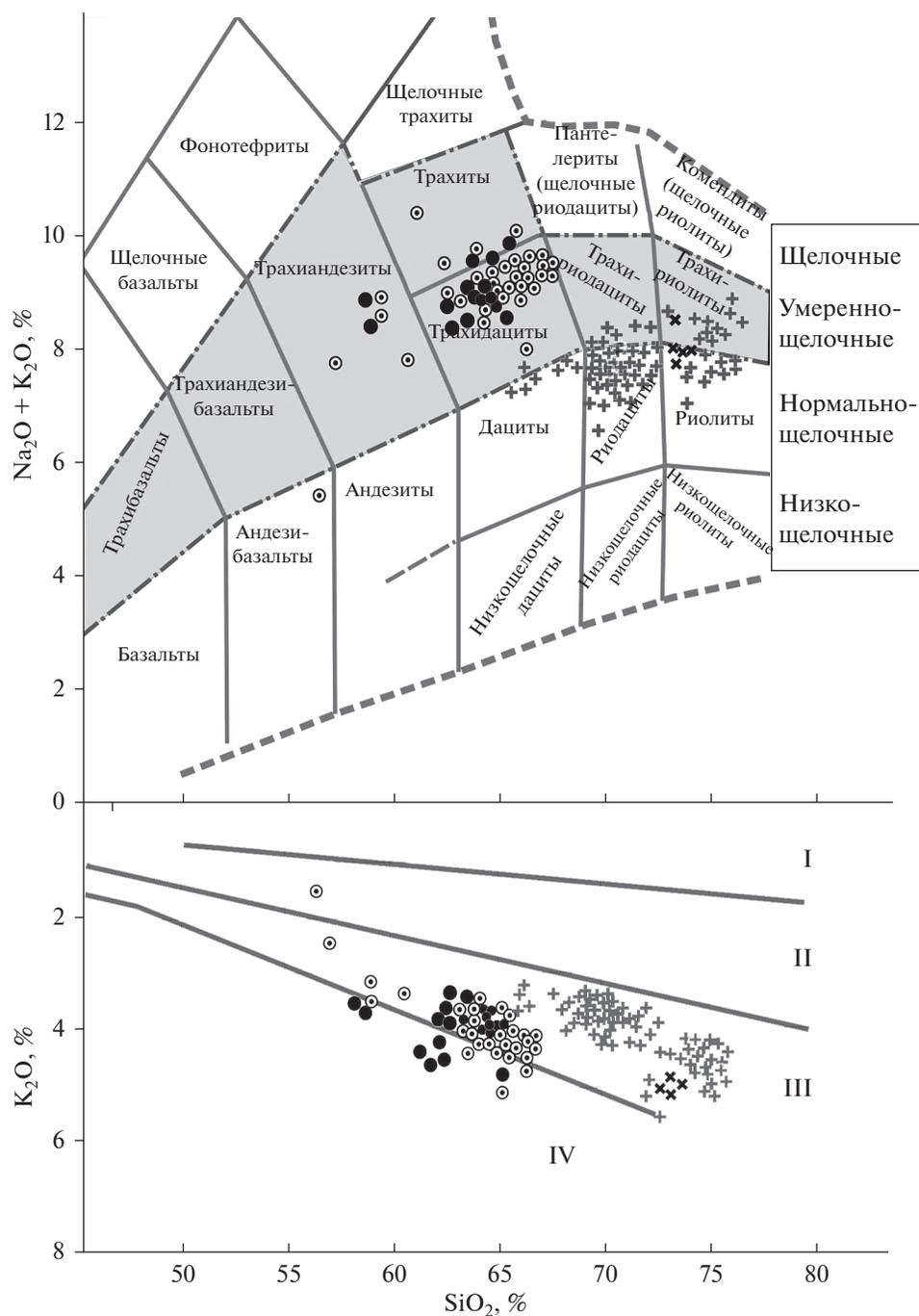


Рис. 3. TAS – диаграмма игнимбритов Армении (точки) и Северного Кавказа (прямые кресты), по [Петрографический кодекс, 2008], развернутая вниз по оксиду калия.

I–IV – петрохимические серии (по содержанию K_2O): толеитовая (I), известково-щелочная низкокалийевая (II) и высококалийевая (III) ветвей, шошонитовая (IV). Валовые составы фьямме в игнимбритах Армении отмечены точкой в круге, а Северного Кавказа – косыми крестами. Использованы анализы табл. 1, 4 данной работы, а также заимствованы из работ [Бубнов и др., 2016; Короновский и др., 1982; Lipman et al., 1993].

Чучхур, Чомарткол [Чернышев и др., 2014]. Они маркируют вторую фазу активности Эльбрусского центра – 840–700 тыс. лет назад. Следующие фазы активности центра (225–170, 110–70 и менее 30 тыс. лет назад) обозначены исключительно изли-

ниями лав стратовулкана Эльбрус [Лебедев и др., 2010].

Игнимбриты Северного Кавказа изучали многочисленные исследователи [Богатиков и др., 1992; Бубнов и др., 2015, 2016; Короновский, 1968;

Таблица 2. Содержание (ppm) микроэлементов в игнимбригах Армении

| Анализы | V | Zn | Rb | Sr | Zr | Ba | U | Th | Y | Nb | Pb | Li | Be | Sc | Mo | Cd | Hf | Ta | Bi |
|-----------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|----|----|------|------|-----|------|-----|------|------|------|-------|
| Арагац | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 501 | 50 | 62 | 101 | 237 | 414 | 816 | 3.8 | 15.3 | 32 | 31 | 7.1 | 20 | 3.1 | 8.3 | 2.3 | 0.07 | 10.2 | 1.66 | 0.002 |
| 502 | 69 | 57 | 74 | 313 | 305 | 682 | 2.9 | 11 | 24 | 21 | 9.2 | 14.9 | 2.2 | 7.2 | 3.8 | 0.05 | 7.3 | 1.06 | 0.040 |
| 502/1 | 56 | 58 | 89 | 293 | 355 | 763 | 3.7 | 13.2 | 26 | 26 | 12.2 | 16.9 | 2.5 | 7.0 | 4.6 | 0.05 | 8.5 | 1.37 | 0.044 |
| Ауа-15/14 | | | | | | | 3.6 | 12 | 30 | 28 | 12 | 20 | 2.5 | 9.8 | 3.6 | 0.53 | 7.9 | 1.3 | 0.029 |
| Ауа-16/14 | | | | | | | 1.6 | 8.8 | 25 | 31 | 9.4 | 19 | 2.9 | 8.8 | 2.0 | 0.20 | 2.0 | 1.4 | 0.020 |
| Ауа-19/14 | | | | | | | 3.4 | 11 | 30 | 25 | 12 | 19 | 2.4 | 11 | 2.8 | 0.46 | 7.3 | 1.1 | 0.049 |
| Ауа-21/14 | | | | | | | 3.6 | 12 | 29 | 28 | 12 | 16 | 3.0 | 9.3 | 3.9 | 0.58 | 8.1 | 1.3 | 0.041 |
| Ауа-25/14 | | | | | | | 3.7 | 11 | 26 | 24 | 12 | 16 | 2.7 | 8.9 | 3.3 | 0.50 | 7.3 | 1.1 | 0.15 |
| АМ-10/15 | | | | | | | 1.7 | 7.2 | 23 | 29 | 6.8 | 21 | 3.1 | 8.1 | 2.6 | 0.22 | 3.6 | 1.5 | 0.001 |
| АМ-11/15 | | | | | | | 3.7 | 12 | 26 | 30 | 9.6 | 25 | 3.8 | 7.0 | 6.1 | 0.46 | 8.9 | 1.5 | 0.080 |
| АМ-12/15 | | | | | | | 1.5 | 4.5 | 12 | 28 | 5.8 | 17 | 3.5 | 4.5 | | 0.17 | 5.0 | 1.3 | |
| АМ-15/15 | | | | | | | 2.7 | 4.39 | 19 | 28 | 4.9 | 19 | 2.9 | 8.7 | 3.6 | 0.20 | 1.2 | 1.4 | 0.003 |
| АМ-20/15 | | | | | | | 0.9 | 4.65 | 25 | 28 | 8.7 | 19 | 2.6 | 8.2 | 2.6 | 0.17 | 2.2 | 1.4 | 0.001 |
| АМ-23/15 | | | | | | | 4.8 | 7.1 | 24 | 20 | 9.5 | 29 | 2.3 | 12 | 2.1 | 0.17 | 3.1 | 0.98 | 0.003 |
| АМ-24/15 | | | | | | | 8.6 | 8.5 | 21 | 27 | 13 | 21 | 2.7 | 6.9 | | 0.33 | 1.8 | 1.2 | |
| 507/2 | 50 | 38 | 76 | 240 | 131 | 760 | 1.4 | 8 | 19 | 27 | 16 | 15 | 2.8 | 7.1 | 2.0 | 0.40 | 4.9 | 1.6 | |
| 507/1 | 43 | 41 | 72 | 256 | 152 | 755 | 2.2 | 8.2 | 20 | 27 | 13 | 18 | 2.4 | 8.0 | 2.0 | 0.33 | 5.1 | 1.6 | |
| 507/3 | 82 | 87 | 48 | 312 | 166 | 528 | 2.5 | 7.9 | 20 | 32 | 18 | 30 | 8.3 | 13.0 | 4.0 | 0.43 | 5.1 | 1.2 | |
| АМ-25/15 | | | | | | | 1.6 | 9.0 | 23 | 27 | 11 | 19 | 2.8 | 8.3 | 3.2 | 0.18 | 7.3 | 1.4 | 0.004 |
| АМ-27/15 | | | | | | | 0.8 | 3.9 | 12 | 26 | 10 | 13 | 2.9 | 3.7 | | 0.01 | 3.3 | 1.2 | |
| 510/6 | 80 | 223 | 19 | 354 | 302 | 740 | 2.3 | 7.0 | 28 | 24 | 20 | 34 | 4.0 | 9.9 | | | 7.0 | 1.1 | 0.11 |
| 510 | 63 | 54 | 82 | 303 | 83 | 814 | 1.4 | 7.0 | 24 | 29 | 8.4 | 19 | 2.8 | 8.5 | | | 2.2 | 1.4 | |
| 510/1 | 56 | 53 | 45 | 245 | 230 | 637 | 1.4 | 7.0 | 20 | 27 | 8.7 | 14 | 3.0 | 7.6 | | | 6.0 | 1.3 | |
| 510/2 | 43 | 28 | 76 | 212 | 381 | 823 | 2.5 | 8.6 | 17 | 29 | 6.3 | 14 | 2.8 | 4.4 | | | 8.9 | 1.5 | |
| 510/4 | 83 | 101 | 15 | 213 | 370 | 467 | 2.2 | 4.4 | 11 | 30 | 36 | 17 | 4.9 | 9.0 | | | 8.1 | 1.3 | 0.81 |
| 510/3 | 43 | 49 | 59 | 125 | 359 | 683 | 3.3 | 8.1 | 16 | 32 | 13 | 16 | 3.0 | 5.4 | | | 9.0 | 1.7 | 0.01 |
| АМ-29/15 | | | | | | | 3.9 | 13 | 26 | 25 | 16 | 23 | 2.9 | 7.2 | | 0.26 | 8.9 | 1.2 | 0.053 |
| Памбак | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| АМ-37/15 | | | | | | | 3.6 | 12 | 27 | 26 | 13 | 21 | 2.6 | 7.9 | 4.2 | 0.47 | 7.7 | 1.3 | 0.10 |
| АМ-39/15 | | | | | | | 3.5 | 12 | 27 | 27 | 13 | 23 | 2.8 | 7.6 | 4.7 | 0.49 | 8.2 | 1.3 | 0.11 |

Примечание. Привязку анализов см. табл. 1.

Короновский и др., 1982, 2007; Лебедев и др., 2011; Масуренков, 1961; Станкевич, 1976; Чернышев и др., 2014]. По данным этих исследователей и личным наблюдениям, окраска игнимбригов здесь преимущественно серая от светлых тонов до темных, буроватых или палевых оттенков. Вкрапленники представлены кислым плагиоклазом, калиевым полевым шпатом, кварцем, в резко подчиненном количестве отмечается биотит и гиперстен. Данные породы насыщены уплощенными обособлениями с разломаченными окончаниями (фьямме), погруженными в лавоподобный флюидално – полосчатый матрикс. Для фьямме характерна эндоконтактовая зона более тонкого

сложения шириной 1 мм–1 см, в зависимости от размера фьямме по длинной оси (см. рис. 26). Данные игнимбригы исключительно кремнекислые: SiO₂ в валовых пробах составляет 64.81–76.89, Na₂O – 3.20–4.15, K₂O – 3.66–5.27 мас. %. Во фьямме содержание SiO₂ варьирует от 72.2 до 73.55, Na₂O в диапазоне 2.73–3.68 и K₂O – от 4.08 до 5.66 мас. %. Например, в карьере на вершине горы Хора-Хоро содержание SiO₂ в валовых пробах пород составляет 71.42–73.74, Na₂O – 3.33, K₂O – 4.36–4.43 мас. %, а во фьямме игнимбригов – SiO₂ – 72.2–73.55, Na₂O – 2.73–3.42, K₂O – 4.84–5.66 мас. % (табл. 4, анализы 403–403/5, 601–601/4). Причем, плющеные образования со-

Таблица 3. Содержание (ppm) редкоземельных элементов в игнимбритах Армении

| Элементы | 510/4 | Ауа-16/14 | Ауа-19/14 | Ауа-21/14 | Ауа-25/14 | АМ-10/15 | АМ-11/15 | АМ-23/15 | АМ-24/15 | АМ-25/15 | АМ-37/15 | АМ-39/15 |
|----------|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| La | 19 | 42 | 53 | 49 | 47 | 52 | 50 | 47 | 45 | 47 | 52 | 53 |
| Ce | 36 | 80 | 100 | 92 | 89 | 103 | 92 | 83 | 80 | 106 | 98 | 106 |
| Pr | 4.1 | 9.3 | 11.0 | 10.0 | 10.0 | 10.0 | 10.0 | 9.5 | 9.3 | 9.9 | 10.4 | 10.7 |
| Nd | 17 | 33 | 38 | 36 | 34 | 46 | 33 | 33 | 32 | 31 | 37 | 36 |
| Sm | 3.1 | 5.8 | 7.0 | 6.2 | 5.9 | 6.2 | 6.0 | 6.1 | 6.2 | 6.1 | 6.4 | 6.6 |
| Eu | 0.73 | 1.6 | 1.9 | 1.7 | 1.6 | 1.6 | 1.4 | 1.60 | 1.50 | 1.50 | 1.6 | 1.7 |
| Gd | 2.5 | 6.7 | 7.9 | 7.3 | 7.0 | 6.3 | 6.0 | 6.1 | 4.8 | 6.0 | 6.3 | 6.4 |
| Tb | 0.44 | 0.84 | 0.94 | 0.91 | 0.84 | 0.85 | 0.86 | 0.82 | 0.81 | 0.83 | 0.86 | 0.89 |
| Dy | 2.5 | 4.7 | 5.1 | 4.9 | 4.5 | 4.8 | 4.9 | 4.7 | 4.6 | 4.7 | 5.0 | 5.2 |
| Ho | 0.55 | 0.89 | 1.10 | 1.00 | 0.93 | 0.90 | 0.96 | 0.93 | 0.88 | 0.86 | 1.01 | 1.02 |
| Er | 1.4 | 2.5 | 3.2 | 3.2 | 2.9 | 2.5 | 2.8 | 2.4 | 2.4 | 2.5 | 3.0 | 3.0 |
| Tm | 0.21 | 0.35 | 0.47 | 0.46 | 0.41 | 0.34 | 0.45 | 0.35 | 0.33 | 0.34 | 0.44 | 0.44 |
| Yb | 1.5 | 2.0 | 3.0 | 3.0 | 2.6 | 2.1 | 3.0 | 2.3 | 2.0 | 2.2 | 3.0 | 2.9 |
| Lu | 0.21 | 0.31 | 0.44 | 0.45 | 0.40 | 0.31 | 0.46 | 0.32 | 0.30 | 0.32 | 0.45 | 0.47 |
| Сумма | 89.24 | 189.99 | 233.05 | 216.12 | 207.08 | 236.90 | 161.83 | 198.12 | 190.12 | 219.25 | 225.46 | 234.32 |
| La/Yb | 12.7 | 21 | 17.7 | 16,3 | 18.1 | 24.8 | 16.7 | 20.4 | 25 | 21.4 | 17.3 | 18.3 |
| Th/Yb | 2.9 | 4.4 | 3.7 | 4.0 | 4.2 | 3.3 | 4.0 | 3.1 | 4.3 | 4.1 | 4.0 | 4.1 |
| Ta/Yb | 0.9 | 0.7 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.7 | 0.5 | 0.4 | 0.6 | 0.6 | 0.4 | 0.4 |

Примечание. Привязку образцов см. табл. 1.

держат SiO₂ в пределах 67–76 мас. %, а эоплейстоценовые игнимбиты Эльбруса – 66.9–69.8 SiO₂ мас. %.

По суммарным значениям оксидов щелочных элементов игнимбиты Северного Кавказа принадлежат к умеренно щелочным и слабощелочным разностям, а по содержанию оксида калия – к высококалиевой ветви известково-щелочной петрохимической серии близ ее границы с низкокалиевой ветвью этой серии (см. табл. 4, рис. 3).

Содержания микроэлементов (ppm) в них варьируют в широких пределах: V (2–47), Zn (2–50), Rb (79–234), Sr (10–344), Zr (412–214), Ba (27–548), U (4.4–9.5), Th (8–21), Y (5–17), Nb (7.1–15.0), Pb (13–43), Li (11–52), Be (1.9–3.8), Sc (0.7–8.4), Mo (0.1–1.7), Cd (0.05–0.18), Cs (4.6–11.0), Hf (1.5–3.6), Ta (0.6–1.4), Bi (0.01–0.59) (табл. 5).

Суммарное содержание редкоземельных элементов меняется от 37 до 186 ppm (табл. 6). При этом легкие лантаноиды резко преобладают над тяжелыми: La/Yb варьирует в пределах 8.9–44.8.

ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ЧЕРТЫ ИГНИМБРИТОВ АРМЕНИИ И СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

Позднекайнозойские игнимбиты Армении и Северного Кавказа существенно различаются по многим петро-геохимическим параметрам. Прежде всего, армянские игнимбиты более основные и калиевые. (см. табл. 1, 4, рис. 3). По сравнению с северокавказскими, они обогащены V, Zn, Ba, Sr, Nb, Zr, Y, Hf, Ta, Mo. Одновременно северокавказские игнимбиты, как более кремнекислые, обогащены Li, Pb, Rb, Th, U (рис. 5). Концентрация Be практически одинакова в обеих разностях игнимбритов, и она не зависима от кремнекислотности пород.

Суммарное содержание редкоземельных элементов (РЗЭ) в игнимбритах Северного Кавказа ниже, чем у армянских игнимбритов (37–186 против 89–237 ppm). При этом преобладание легких РЗЭ свойственно обеим разностям (у игнимбритов Армении La/Yb составляют от 12.7 до 24.8 против 8.9–44.8 у таковых Северного Кавказа), но у северокавказских пород преобладание

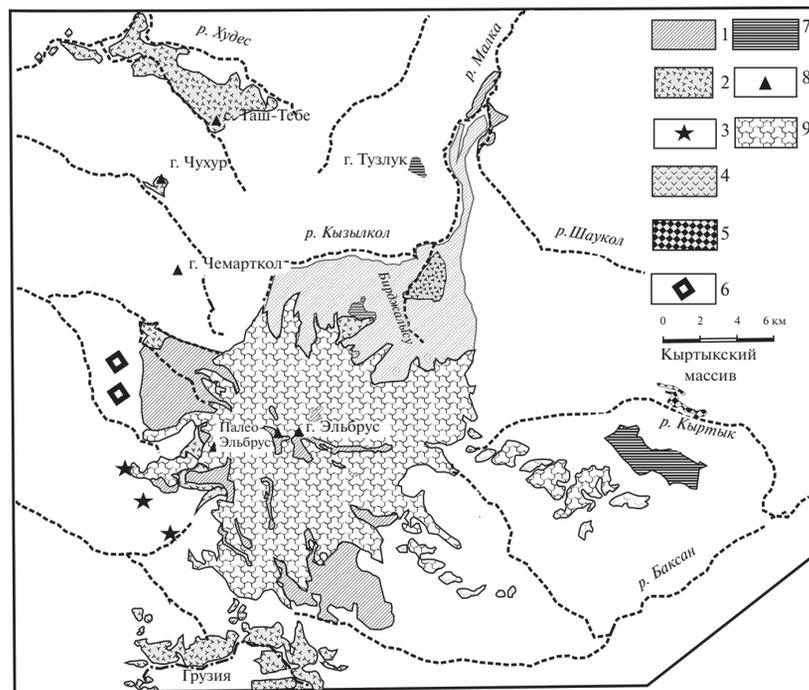
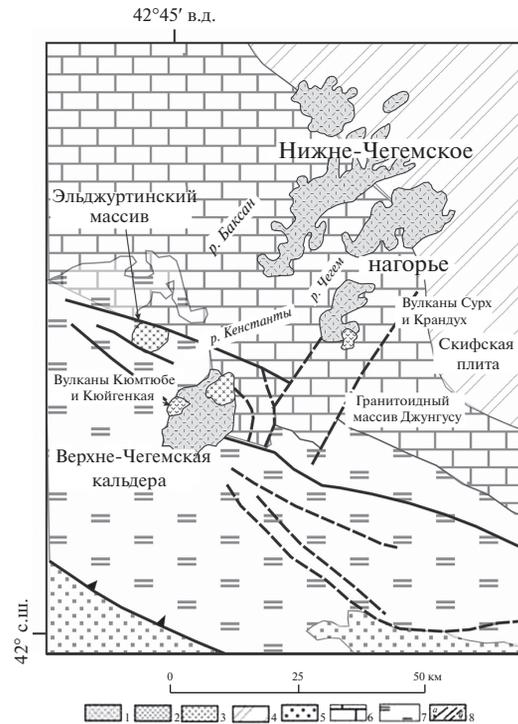


Рис. 4. Распространение позднекайнозойских игнимбритов в центральной части Северного Кавказа, по [Gazis et al., 1995] с изменениями (а) и схематическая геологическая карта района горы Эльбрус, по [Чернышев и др., 2014] с изменениями (б).

а – 1 – плиоценовые игнимбриты и туфы, 2 – плиоценовые андезибазальты и андезиты, 3 – плиоценовые гранитоиды, 4 – меловые и палеогеновые осадочные породы, 5 – позднеюрские и меловые известняки, 6 – нижнеюрские осадочные породы, 7 – кристаллические сланцы герцинского фундамента, 8 – разрывные нарушения (а – современные активные, б – предполагаемые); б – 1 – средне-позднеоплейстоценовые – голоценовые (?) лавы вулкана Эльбрус, 2 – раннеоплейстоценовые игнимбриты, туфы, туфолавы и лавы Эльбрусского центра, 3 – остатки раннеоплейстоценовых вулканических аппаратов, 4 – эоплейстоценовые лавы Эльбрусского центра, 5 – позднеплиоценовые гранитоиды, 6 – некки, дайки и субвулканические тела позднеплиоценовых риолитов и витрофиров, покровы кислых туфолав, 7 – среднеплиоценовые пирокласты Тырнаузского вулканического центра, 8 – четвертичные вулканы, 9 – ледники и фирновые поля.

Таблица 4. Содержание (мас. %) петрогенных элементов в игнимбритах Северного Кавказа

| Образцы | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ | S | ппп | Сумма |
|-----------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|------|-------------------|------------------|-------------------------------|------|------|--------|
| Б-01/12 | 68.80 | 0.57 | 14.79 | 3.75 | 0.057 | 1.26 | 2.50 | 3.92 | 3.56 | 0.19 | | 0.42 | 99.82 |
| Б-07/12 | 67.70 | 0.59 | 15.51 | 3.70 | 0.060 | 1.27 | 2.87 | 3.94 | 3.35 | 0.20 | | 0.61 | 99.80 |
| Б-13/12 | 67.55 | 0.53 | 16.13 | 2.97 | 0.053 | 1.23 | 3.09 | 3.93 | 3.28 | 0.16 | 0.02 | 0.86 | 99.80 |
| ВТ-2/97 | 67.74 | 0.60 | 14.69 | 3.57 | 0.07 | 1.14 | 2.63 | 3.96 | 3.58 | 0.18 | | | 98.16 |
| ВТ-12/97 | 67.94 | 0.60 | 15.29 | 3.58 | 0.07 | 1.20 | 2.73 | 3.58 | 3.67 | 0.17 | | | 98.83 |
| ВТ-13/97 | 68.57 | 0.59 | 15.25 | 3.55 | 0.06 | 1.14 | 2.65 | 4.16 | 3.71 | 0.16 | | | 99.84 |
| 217-01/0д | 68.91 | 0.47 | 16.44 | 2.66 | 0.050 | 1.13 | 2.85 | 4.15 | 3.29 | 0.15 | | | 100.10 |
| 217-1/0 | 70.32 | 0.47 | 15.50 | 2.78 | 0.05 | 1.10 | 2.64 | 4.19 | 3.43 | 0.21 | | | 100.69 |
| 209/0 | 69.86 | 0.52 | 15.64 | 2.95 | 0.05 | 1.30 | 2.85 | 3.90 | 3.37 | 0.24 | | | 100.68 |
| 209/0д | 69.30 | 0.53 | 13.96 | 2.78 | 0.050 | 0.98 | 2.78 | 3.19 | 3.26 | 0.17 | | | 99.07 |
| Кб-2/14 | 75.20 | 0.09 | 12.71 | 1.05 | 0.045 | 0.33 | 1.11 | 3.82 | 4.49 | 0.04 | 0.01 | 1.04 | 99.94 |
| 402 | 75.46 | 0.14 | 12.60 | 1.66 | 0.03 | 0.24 | 0.84 | 3.21 | 4.53 | 0.04 | 0.01 | 0.86 | 99.62 |
| Кб-5/14 | 72.26 | 0.28 | 13.26 | 2.05 | 0.040 | 0.65 | 1.44 | 3.23 | 4.45 | 0.06 | 0.01 | 2.11 | 99.84 |
| Кб-6/14 | 72.70 | 0.24 | 13.19 | 1.76 | 0.032 | 0.44 | 1.26 | 3.18 | 4.66 | 0.07 | 0.01 | 2.31 | 99.85 |
| Кб-8/14 | 75.59 | 0.10 | 11.99 | 1.02 | 0.042 | 0.27 | 0.72 | 2.97 | 4.39 | 0.01 | | 2.80 | 99.90 |
| Кб-9/14 | 72.57 | 0.20 | 13.04 | 1.61 | 0.036 | 0.45 | 1.02 | 2.80 | 4.75 | 0.03 | 0.01 | 3.26 | 99.78 |
| Кб-10/14 | 74.04 | 0.22 | 12.13 | 1.86 | 0.040 | 0.88 | 1.29 | 2.86 | 3.90 | 0.04 | | 2.57 | 99.83 |
| 403 | 71.42 | 0.28 | 13.10 | 2.78 | 0.06 | 0.64 | 1.59 | 3.30 | 4.36 | 0.06 | 0.01 | 1.91 | 99.51 |
| 403/2 | 73.40 | 0.12 | 12.51 | 1.86 | 0.05 | 0.23 | 0.67 | 3.18 | 4.84 | 0.03 | 0.01 | 2.40 | 99.30 |
| 403/3 | 72.93 | 0.21 | 12.66 | 1.85 | 0.05 | 0.39 | 0.96 | 2.88 | 5.05 | 0.04 | 0.01 | 2.33 | 99.36 |
| 403/5 | 73.55 | 0.13 | 12.28 | 2.24 | 0.04 | 0.26 | 0.74 | 2.99 | 4.99 | 0.03 | 0.01 | 2.06 | 99.32 |
| 601 | 73.74 | 0.23 | 13.16 | 1.66 | 0.037 | 0.55 | 1.41 | 3.35 | 4.43 | 0.06 | 0.01 | 1.23 | 99.87 |
| 601/1 | 73.51 | 0.20 | 13.22 | 1.43 | 0.032 | 0.34 | 1.05 | 3.42 | 5.15 | 0.05 | 0.01 | 1.46 | 99.87 |
| 601/3 | 72.9 | 0.21 | 13.07 | 1.74 | 0.02 | 0.38 | 1.08 | 2.73 | 5.66 | 0.01 | 2.38 | 0.04 | 100.22 |
| 601/4 | 72.2 | 0.34 | 14.16 | 2.38 | 0.05 | 0.44 | 1.92 | 3.27 | 4.94 | 0.01 | 2.19 | 0.03 | 101.93 |
| Кб-16/14 | 72.07 | 0.29 | 14.02 | 2.20 | 0.041 | 0.66 | 1.59 | 3.35 | 3.87 | 0.07 | 0.01 | 1.58 | 99.75 |
| 602 | 74.71 | 0.15 | 12.89 | 1.31 | 0.023 | 0.25 | 1.03 | 3.64 | 4.85 | 0.03 | 0.01 | 1.04 | 99.93 |
| 406 | 76.17 | 0.12 | 12.21 | 1.74 | 0.04 | 0.30 | 1.08 | 3.43 | 4.37 | 0.03 | 0.01 | 0.39 | 99.89 |
| Кб-18/14 | 76.89 | 0.12 | 11.71 | 1.18 | 0.035 | 0.42 | 0.95 | 3.25 | 4.02 | 0.02 | | 1.31 | 99.91 |
| Кб-19/14 | 73.91 | 0.07 | 11.97 | 0.93 | 0.045 | 0.49 | 2.33 | 3.62 | 4.08 | 0.01 | | 2.46 | 99.92 |
| Кб-20/14 | 74.96 | 0.14 | 12.46 | 1.26 | 0.033 | 0.33 | 1.12 | 3.35 | 4.54 | 0.03 | 0.01 | 1.66 | 99.89 |
| 407 | 75.28 | 0.15 | 12.23 | 2.14 | 0.04 | 0.32 | 0.98 | 3.28 | 4.46 | 0.04 | 0.01 | 0.97 | 99.90 |
| 408 | 75.10 | 0.14 | 12.34 | 1.48 | 0.04 | 0.45 | 1.13 | 3.31 | 4.47 | 0.04 | 0.01 | 1.30 | 99.81 |
| 608 | 75.75 | 0.09 | 12.53 | 0.89 | 0.049 | 0.28 | 0.80 | 3.43 | 4.89 | 0.01 | 0.01 | 1.21 | 99.94 |
| 609/1 | 74.21 | 0.12 | 12.21 | 1.10 | 0.062 | 0.47 | 2.20 | 3.52 | 4.53 | 0.03 | 0.01 | 1.45 | 99.91 |
| Кб-12/14 | 75.37 | 0.19 | 12.17 | 1.66 | 0.021 | 0.70 | 1.41 | 3.35 | 4.12 | 0.04 | | 0.83 | 99.86 |
| Кб-13/14 | 74.52 | 0.23 | 13.01 | 1.86 | 0.035 | 0.40 | 1.28 | 3.38 | 4.37 | 0.06 | 0.01 | 0.70 | 99.96 |
| Кб-15/14 | 71.31 | 0.37 | 14.66 | 2.49 | 0.039 | 0.64 | 2.01 | 3.70 | 3.53 | 0.09 | 0.01 | 0.96 | 99.81 |
| 405 | 72.30 | 0.33 | 13.73 | 3.10 | 0.05 | 0.67 | 1.67 | 3.68 | 4.08 | 0.05 | 0.01 | 0.86 | 100.53 |
| 605 | 72.00 | 0.11 | 12.92 | 1.22 | 0.096 | 0.79 | 2.11 | 3.20 | 5.27 | 0.096 | 0.01 | 2.09 | 99.91 |
| 605/1 | 75.31 | 0.11 | 12.95 | 1.05 | 0.038 | 0.21 | 0.82 | 3.55 | 4.70 | 0.038 | 0.01 | 1.18 | 99.97 |
| 606 | 69.56 | 0.15 | 12.73 | 1.42 | 0.062 | 0.92 | 3.42 | 4.15 | 4.35 | 0.062 | 0.01 | 3.11 | 99.94 |
| 606/1 | 72.2 | 0.34 | 14.16 | 2.38 | 0.015 | 0.44 | 1.92 | 3.94 | 3.66 | 0.02 | 0.09 | 0.01 | 99.18 |
| 606/2 | 72.2 | 0.32 | 13.85 | 2.5 | 0.081 | 0.56 | 1.73 | 4.06 | 3.92 | 0.08 | 0.09 | 0.01 | 99.40 |
| 607 | 74.1 | 0.11 | 12.51 | 1.8 | 0.04 | 0.21 | 0.77 | 3.74 | 4.62 | 0.04 | 0.02 | 0.01 | 97.97 |

Таблица 4. Окончание

| Образцы | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MnO | MgO | CaO | Na ₂ O | K ₂ O | P ₂ O ₅ | S | ппп | Сумма |
|--------------|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|------|-------------------|------------------|-------------------------------|------|------|--------|
| VNU-58/90 | 64.81 | 0.46 | 15.15 | 3.18 | 0.06 | 2 | 3.55 | 3.09 | 3.03 | 0.13 | | | 98.96 |
| VNU-110/91 | 65.37 | 0.42 | 14.60 | 2.13 | 0.03 | 2.2 | 2.71 | 3.04 | 3.29 | 0.16 | | | 98/75 |
| VNU-CG-24/91 | 68.40 | 0.53 | 16.10 | 3.67 | 0.05 | 1.21 | 2.87 | 4.25 | 3.06 | 0.15 | | | 100.29 |
| VNU-51-2/91 | 69.07 | 0.45 | 15.61 | 2.86 | 0.05 | 1.52 | 2.11 | 4.43 | 3.44 | 0.21 | | | 99.75 |
| VNU-КН-2 | 69.80 | 0.49 | 15.50 | 3.17 | 0.05 | 0.96 | 2.62 | 4.25 | 3.35 | 0.14 | | | 100.33 |
| 236-1/0 | 71.34 | 0.48 | 15.06 | 2.78 | 0.029 | 1.58 | 2.34 | 2.91 | 4.02 | 0.18 | | | 100.72 |
| 236-01/0д | 70.32 | 0.50 | 15.23 | 2.62 | 0.030 | 1.74 | 2.32 | 2.53 | 3.83 | 0.13 | | | 99.25 |
| 218-3/0 | 72.13 | 0.45 | 15.06 | 2.25 | 0.029 | 1.24 | 2.17 | 3.76 | 3.66 | 0.15 | | | 100.90 |
| 218-03/0д | 69.58 | 0.52 | 15.62 | 2.29 | 0.03 | 1.47 | 2.17 | 3.58 | 3.75 | 0.13 | | | 99.14 |
| М1-39/97 | 72.21 | 0.45 | 14.91 | 2.83 | 0.05 | 0.73 | 1.93 | 2.89 | 3.88 | 0.10 | | | 99.98 |
| М1-40/97 | 71.61 | 0.45 | 15.27 | 2.91 | 0.05 | 0.76 | 1.88 | 3.27 | 3.68 | 0.12 | | | 100.00 |
| 221-1/0 | 71.78 | 0.38 | 15.65 | 2.55 | 0.046 | 0.88 | 1.96 | 3.50 | 4.01 | 0.12 | | | 100.88 |
| 221-01/0д | 69.32 | 0.41 | 16.55 | 2.56 | 0.050 | 1.05 | 2.06 | 3.62 | 3.98 | 0.09 | | | 99.69 |
| kb23-14 | 70.01 | 0.38 | 15.29 | 2.56 | 0.049 | 0.72 | 1.97 | 3.50 | 3.97 | 0.10 | 0.01 | 1.27 | 99.83 |
| 410 | 70.34 | 0.41 | 14.64 | 3.43 | 0.055 | 0.73 | 2.04 | 3.68 | 3.89 | 0.08 | 0.01 | 0.83 | 100.41 |

Примечания. Эоплейстоценовые образования – Эльбрусский массив: 209/0, 209 – А/0, 93/98, 95/98 – игнимбриды, валовые пробы, ледник Кюкюртлю, Бт-8/97, Вт-8/98 – игнимбриды, валовые пробы, верховья реки Бийтик-Тёбе, Бт-12/97 – игнимбриды, валовая проба, правый берег р. Бийтик-Тёбе, верхи разреза, Бт-2/97 – игнимбриды, валовая проба, правый берег р. Бийтик-Тёбе, низы разреза, Бт-13/97, 52г/98 – игнимбриды, валовые пробы, р. Бийтик-Тёбе, 217-1/0, 217-1А/0 – игнимбриды, валовые пробы, верхний покров под ледником Уллукол, 82к/97, 54-97 – игнимбриды, Чемарткол (см. также [Чернышев и др., 2014]).

Плиоценовые образования – Нижнечегемский массив: 402, Кб-2/14 – игнимбриды, валовые пробы, правобережье реки Баксан напротив центра села Заюково, Кб-5/14, Кб-6/14, Кб-8/14, Кб-9/14, Кб-10/14, 403, 601 – игнимбриды, валовые пробы, 403/2,3,5, 601/1,3,4 – фьямме в игнимбридах, карьер на вершине горы Хара-Хоро на левобережье реки Баксан у села Заюково, 602 – игнимбриды, валовая проба, правобережье р. Баксан у села Заюково; 406, Кб-16/14 – игнимбриды, валовые пробы, правобережье р. Чегем у поселка Нижний Чегем; Кб-18/14, Кб-19/14, 407, 408, Кб-20/14 – игнимбриды, валовые пробы, левобережье р. Чегем близ села Лечинкай в 1 км выше по течению р. Чегем; 608, 609/1 – игнимбриды, валовые пробы, в борту дороги близ карьера у села Каменка (околица города Нальчик). Верхнечегемский массив: 405, Кб-15/14, Кб-12/14, Кб-13/14 – игнимбриды, валовые пробы, левый обрывистый борт реки Джылгысу – левый приток р. Чегем близ села Эль-Тюбу, 605 – игнимбриды, валовая проба, правобережье реки Башиль близ ее слияния с р. Чегем, 605/1 – игнимбриды, валовая проба, правый борт р. Башиль в 200 м выше моста близ устья реки, 606, 606/1,2 – игнимбриды, валовые пробы, левобережье р. Чегем, на дороге, южнее погранзаставы у с. Булунгу, 607 – игнимбриды, валовая проба, в борту дороги у южной окраины с. Булунгу. Анализы на VNU – игнимбриды, валовые пробы, верхи разреза Верхнечегемского массива.

Тырныаузский массив: 410, 221-1/0д – игнимбриды, валовые пробы, вершина горы Тузлук на северном подножье Эльбруса, Кб-23/14, 221-1/0 – игнимбриды, северный склон г. Тузлук; 236-1/0, 236-01/0д – игнимбриды, перевал Ирикчат (пик Липаритовый); 218-3/0, 218-03/0д – игнимбриды, район ледника Уллукол, северный склон Эльбруса; МЛ-39/97, МЛ-40/97 – игнимбриды, исток реки Бирджалысу (см. также [Бубнов и др., 2016]).

легких над тяжелыми РЗЭ выражено резче и заметнее проявлен Eu – минимум. Эти наглядно выступают на графике распределения РЗЭ, нормированных по отношению к хондриту (рис. 6).

Отличия в положении точек игнимбридов Армении и Северного Кавказа проявляются на дискриминационных диаграммах содержаний редких элементов. На диаграмме Rb–Hf–Ta отчетливо проявлено тяготение армянских игнимбридов к коллизионным, а северокавказских – к внутриплитным образованиям (рис. 7). Но особенно значимы различия данных пород выступают на диаграмме Th/Yb–Ta/Yb (рис. 8). Породы Армении расположены ближе к области океанических производных, в то время как точки игнимбридов Северного Кавказа располагаются в поле магматитов активных континентальных окраин.

Особое значение имеют изотопно-геохимические характеристики указанных пород. Игнимбриды Армении и Северного Кавказа существенно отличаются в начальном изотопном составе Sr и Nd. Четвертичные игнимбриды и туфы Арагацского центра, по сравнению с плиоцен-четвертичными игнимбридами и ассоциированными с ними пирокластическими образованиями Северного Кавказа, имеют менее радиогенный изотопный состав Sr и комплементарно более радиогенный изотопный состав Nd: $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.70418\text{--}0.70497$, $\epsilon_{\text{Nd}} = +3.3\text{...}+4.2$ – для игнимбридов Армении и $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.70553\text{--}0.70804$, $\epsilon_{\text{Nd}} = -3.0\text{...}-1.3$ – для игнимбридов Северного Кавказа [Popov et al., 2000; Бубнов и др., 2016]. Полученные данные свидетельствуют о более масштабном участии корового материала в петрогенезисе материнских

Таблица 5. Содержание (ppm) микроэлементов в игнимбритах Северного Кавказа

| Образцы | V | Zn | Rb | Sr | Zr | Ba | U | Th | Y | Nb | Pb | Li | Be | Mo | Hf | Ta |
|------------|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|----|----|------|-----|----|-----|------|------|------|
| Б-07/12 | | | | | | | 6.1 | 21 | 11 | 10.5 | 25 | 52 | | 1.3 | 2.7 | 1.0 |
| Б-13/12 | | | | | | | 4.4 | 17 | 10 | 11 | 23 | 44 | 3.8 | 0.66 | 2.2 | 1.0 |
| 217-01/0 д | | | | | | | 5.4 | 20 | 14 | 15 | 26 | 36 | 3.5 | 0.54 | 3.1 | 1.4 |
| 209/0 д | | | | | | | 6.2 | 20 | 12 | 12 | 24 | 43 | 3.7 | 1.1 | 3.6 | 1.3 |
| Кб-2/14 | | | | | | | 9.5 | 37 | 17 | 12 | 43 | | 3.8 | | 2.06 | 1.38 |
| 402 | 18 | 12 | 115 | 15 | 94 | 227 | 5.4 | 37 | 6 | 13 | 24 | 24 | 1.9 | 0.8 | | |
| Кб-5/14 | | | | | | | 4.7 | 23 | 12 | 7.5 | 29 | | 2.3 | | 1.55 | 0.67 |
| Кб-6/14 | | | | | | | 5.2 | 25 | 11 | 7.6 | 34 | | 2.6 | | 1.81 | 0.66 |
| 403 | 21 | 19 | 111 | 98 | 49 | 500 | 4.8 | 24 | 10 | 7.6 | 19 | 17 | 2.4 | 1.7 | 1.80 | 0.60 |
| 403/3 | 13 | 19 | 137 | 81 | 53 | 410 | 4.8 | 24 | 9 | 7.7 | 26 | 11 | 2.2 | 1.6 | 2.00 | 0.74 |
| 403/5 | 8.8 | 2 | 103 | 15 | 53 | 64 | 6 | 28 | 6 | | 13 | 12 | 2.5 | 2 | 2.20 | 0.84 |
| 601 | 22 | 30 | 106 | 75 | 48 | 375 | 4.6 | 19 | 8 | 7.6 | 19 | | | | | |
| 602 | 14 | 26 | 103 | 20 | 41 | 160 | 4.7 | 24 | 8 | 7.1 | 21 | 27 | 2.4 | 1.2 | 1.60 | 0.69 |
| 406 | 7.5 | 3.1 | 83 | 11 | 45 | 27 | 4.4 | 17 | 5 | 7.5 | 16 | 22 | 2.6 | 1.1 | 1.90 | 0.76 |
| Кб-20/14 | | | | | | | 7.0 | 38 | 12 | 8.0 | 40 | | 2.2 | | 1.85 | 0.83 |
| 407 | 7.5 | 5.7 | 79 | 10 | 45 | 27 | 5.2 | 18 | 5 | 7.4 | 21 | 28 | 2.1 | 1.1 | 1.80 | 0.72 |
| 408 | 2 | 4.8 | 124 | 33 | 43 | 155 | 6.7 | 34 | 9 | 7 | 23 | 21 | 2.3 | 0.8 | 1.80 | 0.72 |
| Кб-15/14 | | | | | | | 5.0 | 16 | 11 | 10 | 21 | 33 | 2.8 | 1.1 | 1.62 | 0.84 |
| 405 | 23 | 31 | 118 | 145 | 53 | 515 | 4.8 | 26 | 11 | 11 | 25 | 30 | 1.7 | 0.86 | 1.90 | 0.64 |
| 605/1 | 9.2 | 43 | 140 | 29 | 41 | 125 | 6.4 | 32 | 10 | 7.3 | 25 | 30 | 2.5 | 2.1 | 1.50 | 0.70 |
| 606 | 19 | 31 | 182 | 24 | 53 | 60 | 9.1 | 31 | 17 | 14 | 26 | 47 | 4.5 | 2.7 | 2.20 | 1.40 |
| 236-01/0д | | | | | | | 5.5 | 22 | 13 | 16 | 27 | 11 | 3.7 | 0.81 | 1.5 | 1.5 |
| 218-03/0д | | | | | | | 5.0 | 19 | 12 | 15 | 26 | 49 | 3.4 | 0.08 | 1.3 | 1.4 |
| 221-01/0д | | | | | | | 5.7 | 20 | 12 | 16 | 27 | 53 | 4.0 | 0.24 | 1.3 | 1.6 |
| kb23-14 | | | | | | | 5.9 | 21 | 15 | 12 | 29 | 56 | 3.9 | 0.66 | 0.8 | 1.2 |
| 410 | 20 | 17 | 81 | 106 | 25 | 234 | 4.2 | 17 | 8 | 13 | 7.8 | 42 | 3.7 | 0.66 | 1.3 | 1.4 |

Примечание. Привязку образцов см. табл. 4.

расплавов, давших игнимбиты Северного Кавказа. Подобные различия петро – геохимических и изотопно-геохимических особенностей указанных игнимбитов определяются спецификой геологической истории развития данных регионов.

ОСОБЕННОСТИ ГЕОТЕКТОНИЧЕСКОГО И ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИИ АРМЕНИИ И СЕВЕРНОГО КАВКАЗА В ФАНЕРОЗОЕ

Исследователи Армении отмечают геотектонические события здесь в связи с принадлежностью данной территории к южной окраине Тетиса [Меликсетян, 2012; 400 миллионов лет ..., 2005; Rolland, 2017; Ziegler, 2001]. Как следует из указанных публикаций, обобщающих многочисленные исследования на эту тему, определяющим были субдукционные и коллизионные процессы в связи с поддвижением Аравийской плиты под более молодые структуры Малого Кавказа, вклю-

чая территорию Армении. При этом, от данной плиты уже в первой половине палеозоя были отторгнуты блоки “гондванского типа” с кристаллической корой (Армянский и Дзирульский массивы), а процессы субдукции сопровождались отрывом субдуцирующегося слэба и его погружением в мантию. Эти явления продолжались и позднее, в процессе закрытия Мезо-Тетиса и затем Нео-Тетиса в позднем кайнозое. При этом, при отрыве слэба, продолжающейся субдукции под Армению и сдвиговому перемещению по Транскавказской системе глубинных дислокаций, в результате разнонаправленных и разноскоростных движений, образовавшееся “тектоническое окно”, возможно, послужило одной из причин внедрения горячего вещества Эфиопско–Арафатского суперплюма и интенсивного вулканизма на Армянском плато [400 миллионов лет ..., 2005, рис. 8.2; Ершов, Никишин, 2004].

Таблица 6. Содержание (ppm) редкоземельных элементов в игнимбритах Северного Кавказа

| Элементы | Б-07/12 | Б-13/12 | 217-01/0д | 209/0д | 402 | Кб-2/14 | Кб-5/14 | Кб-6/14 | 403 |
|----------|----------|---------|-----------|----------|-----------|-----------|---------|---------|--------|
| La | 37.00 | 32.00 | 35.00 | 37.00 | 15.00 | 20.00 | 38.00 | 50.57 | 36.00 |
| Ce | 73.00 | 64.00 | 68.00 | 75.00 | 26.00 | 39.00 | 66.00 | 87.45 | 60.00 |
| Pr | 8.30 | 7.20 | 7.60 | 8.00 | 3.00 | 4.70 | 6.70 | 8.29 | 6.60 |
| Nd | 29.00 | 25.00 | 27.00 | 29.00 | 11.00 | 17.00 | 22.00 | 26.06 | 21.00 |
| Sm | 4.9 | 4.2 | 4.9 | 5.0 | 1.8 | 3.5 | 3.5 | 3.9 | 3.2 |
| Eu | 1.10 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 0.26 | 0.20 | 0.70 | 0.62 | 0.71 |
| Gd | 4.6 | 3.8 | 4.3 | 4.6 | 1.10 | 3.6 | 3.5 | 3.8 | 1.6 |
| Tb | 0.50 | 0.43 | 0.55 | 0.53 | 0.24 | 0.53 | 0.43 | 0.45 | 0.37 |
| Dy | 2.4 | 2.1 | 2.8 | 2.5 | 1.2 | 3.2 | 2.2 | 2.1 | 2.0 |
| Ho | 0.42 | 0.36 | 0.53 | 0.48 | 0.24 | 0.60 | 0.41 | 0.44 | 0.38 |
| Er | 1.1 | 1.0 | 1.5 | 1.3 | 0.7 | 1.7 | 1.1 | 1.1 | 1.0 |
| Tm | 0.15 | 0.12 | 0.20 | 0.17 | 0.10 | 0.27 | 0.19 | 0.17 | 0.16 |
| Yb | 0.90 | 0.82 | 1.30 | 1.10 | 0.65 | 1.80 | 1.20 | 1.13 | 1.00 |
| Lu | 0.13 | 0.14 | 0.18 | 0.15 | 0.10 | 0.26 | 0.16 | 0.17 | 0.16 |
| Сумма | 163.5 | 142.17 | 154.86 | 165.83 | 61.34 | 96.36 | 146.09 | 186.28 | 134.18 |
| La/Yb | 41.1 | 39.0 | 26.9 | 33.6 | 23.00 | 11.1 | 31.7 | 44.8 | 36.0 |
| Th/Yb | 23.3 | 20.7 | 15.4 | 18.2 | 56.9 | 11.0 | 19.8 | 22.1 | 24.0 |
| Ta/Yb | 1.1 | 1.2 | 1.1 | 1.2 | | 0.8 | 0.6 | 0.6 | 0.6 |
| Элементы | 605/1 | 606 | 405 | Кб-15/14 | Кб-13/14 | 406 | 407 | 408 | |
| La | 23 | 16 | 43.00 | 31 | 44 | 13.00 | 7.80 | 21.00 | |
| Ce | 45 | 33 | 76.00 | 55 | 77 | 22.00 | 15.00 | 40.00 | |
| Pr | 4.6 | 4.0 | 7.60 | 4.8 | 7.4 | 2.90 | 1.90 | 4.20 | |
| Nd | 15.0 | 14.0 | 24.0 | 16.0 | 24.0 | 10.0 | 6.6 | 14.0 | |
| Sm | 2.8 | 3.3 | 3.70 | 2.7 | 3.5 | 1.7 | 1.3 | 2.6 | |
| Eu | 0.25 | 0.19 | 0.83 | 0.70 | 0.60 | 0.20 | 0.18 | 0.36 | |
| Gd | 1.6 | 2.6 | 1.9 | 2.4 | 3.5 | 1.1 | 0.9 | 1.7 | |
| Tb | 0.32 | 0.50 | 0.41 | 0.32 | 0.45 | 0.22 | 0.20 | 0.30 | |
| Dy | 1.9 | 3.0 | 2.2 | 2.1 | 2.0 | 1.2 | 1.1 | 1.8 | |
| Ho | 0.34 | 0.63 | 0.45 | 0.39 | 0.41 | 0.24 | 0.21 | 0.35 | |
| Er | 0.94 | 1.60 | 1.10 | 1.00 | 1.1.0 | 0.63 | 0.61 | 0.93 | |
| Tm | 0.15 | 0.26 | 0.18 | 0.15 | 0.17 | 0.11 | 0.10 | 0.15 | |
| Yb | 0.98 | 1.80 | 1.00 | 1.00 | 1.10 | 1.10 | 0.73 | 1.20 | |
| Lu | 0.13 | 0.23 | 0.18 | 0.13 | 0.15 | 0.11 | 0.09 | 0.15 | |
| Сумма | 98 | 82 | 162.55 | 117.69 | 165.38 | 54.51 | 36.72 | 88.74 | |
| La/Yb | 23.5 | 8.9 | 43.0 | 31.0 | 40.0 | 11.8 | 10.7 | 17.5 | |
| Th/Yb | 32.6 | 17.2 | 26.0 | 15.8 | 24.5 | 15.5 | 24.7 | 46.6 | |
| Ta/Yb | 0.7 | 0.8 | 0.6 | 0.8 | 0.7 | 0.7 | 1.0 | 0.6 | |
| Элементы | Кб-20/14 | 410 | 221-1/0д | Кб-23/14 | 236-01/0д | 218-03/0д | 209/0 | 217-1/0 | |
| La | 39 | 21 | 31 | 38 | 35 | 29 | 37 | 35 | |
| Ce | 74 | 41 | 61 | 74 | 69 | 56 | 75 | 68 | |
| Pr | 7.6 | 5.2 | 6.6 | 7.4 | 7.6 | 6.1 | 8.0 | 7.6 | |
| Nd | 25 | 19 | 24 | 25 | 28 | 23 | 29 | 27 | |
| Sm | 4.3 | 3.2 | 4.1 | 4.9 | 4.9 | 4.2 | 5.0 | 4.9 | |
| Eu | 0.40 | 0.68 | 0.80 | 0.90 | 0.90 | 0.90 | 1.00 | 1.00 | |
| Gd | 3.9 | 2.2 | 3.7 | 3.9 | 4.4 | 3.8 | 4.6 | 4.3 | |
| Tb | 0.51 | 0.36 | 0.47 | 0.53 | 0.55 | 0.48 | 0.53 | 0.55 | |
| Dy | 2.4 | 2.0 | 2.5 | 2.9 | 2.8 | 2.5 | 2.5 | 2.8 | |
| Ho | 0.48 | 0.38 | 0.47 | 0.51 | 0.52 | 0.46 | 0.48 | 0.53 | |
| Er | 1.3 | 0.9 | 1.3 | 1.3 | 1.4 | 1.2 | 1.3 | 1.5 | |
| Tm | 0.19 | 0.13 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.17 | 0.17 | 0.2 | |
| Yb | 1.30 | 0.66 | 1.20 | 1.10 | 1.10 | 1.10 | 1.10 | 1.30 | |
| Lu | 0.19 | 0.11 | 0.16 | 0.14 | 0.15 | 0.14 | 0.15 | 0.18 | |
| Сумма | 160.57 | 96.82 | 137.48 | 160.76 | 156.5 | 129.05 | 165.83 | 154.86 | |
| La/Yb | 30.00 | 31.80 | 25.8 | 34.5 | 32.0 | 26.4 | 33.6 | 26.9 | |
| Th/Yb | 30.4 | 25.8 | 16.7 | 19.1 | 20.0 | 17.3 | 18.2 | 15.4 | |
| Ta/Yb | 0.7 | 2.10 | 1.3 | 1.1 | 1.4 | 1.3 | 1.2 | 1.1 | |

Примечание. Привязку анализов см. табл. 4.

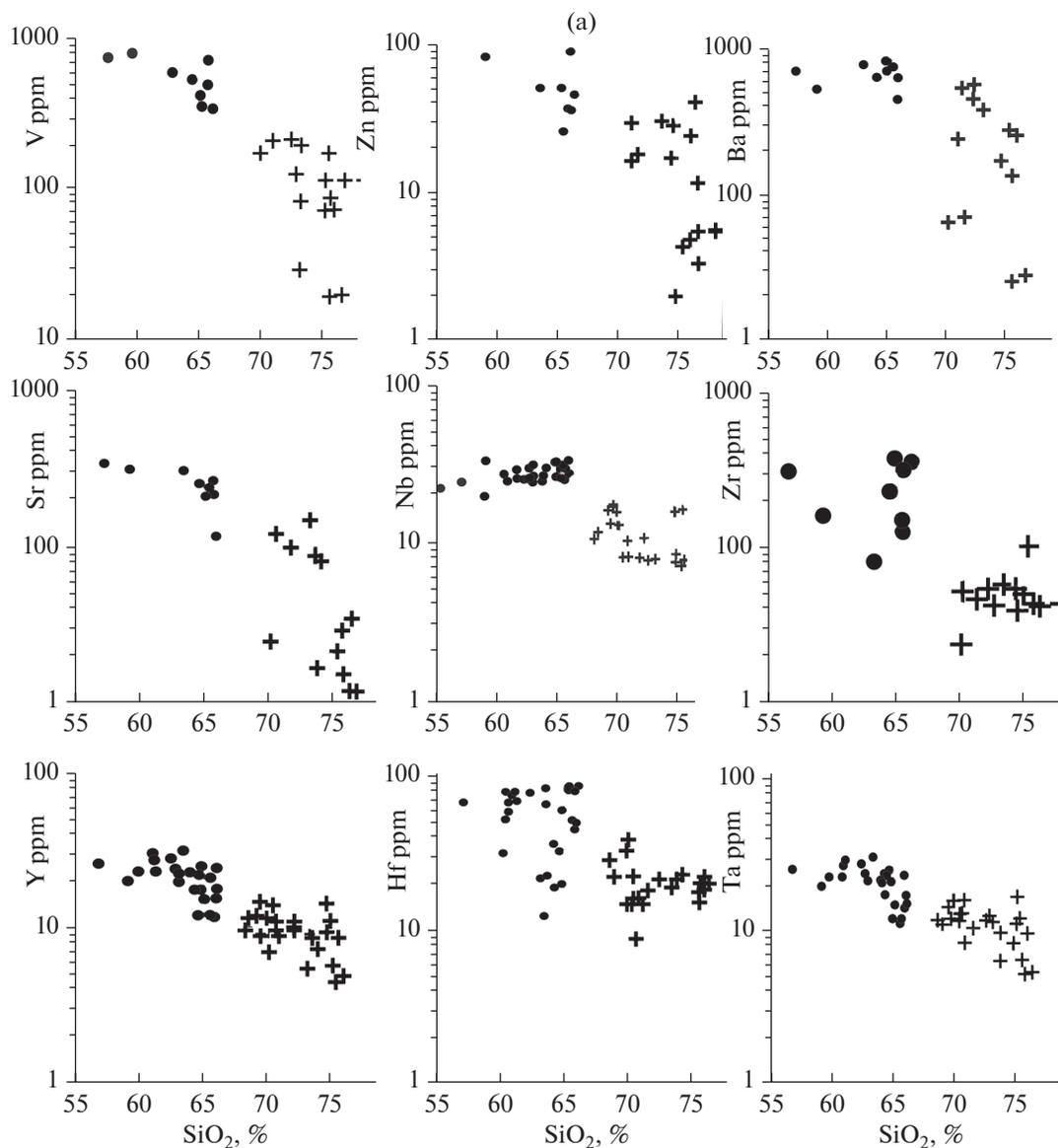


Рис. 5. Распределение микроэлементов в игнимбритах Армении (точки) и Северного Кавказа (кресты) в зависимости от содержания кремнезема.

а – V, Zn, Ba, Sr, Nb, Zr, Y, Hf, Ta, которые имеют отрицательную корреляцию с ростом кремнезема; б – верхняя часть – Mo, имеющий отрицательную корреляцию с ростом кремнезема, в центре – Li с менее выраженной связью с увеличением доли кремнезема в породе и Be, не коррелируемый с кремнекислотностью пород, нижняя часть – Pb, Rb, Th, U, которые резко преобладают в кремнекислых игнимбритах Северного Кавказа по сравнению с таковыми Армении.

Территория Северного Кавказа развивалась в ином режиме. Здесь, на краю Восточно-Европейской платформы (ВЕП), в конце венда–раннем кембрии, сформировались складчатые сооружения кадомид (Бечасынская зона основания Скифской платформы), причленившиеся к ВЕП [Леонов и др., 2010]. Позднее, в карбоне–перми, в условиях окраины андийского типа развивался наземный комплекс вулканитов и гранитоидов, ассоциирующих с молассами, отнесенный в 1975 г. А.А. Моссаковским к Евразийскому орогенному окраинно-континентальному вулканическому

поясу. Как показано в ряде работ [Большой Кавказ ..., 2007] закрытие северного сегмента Нео-Тетиса произошло в конце юры после соединения Дзирульского и Свенского блоков, что привело к прекращению субдукции Закавказской плиты под южную окраину Скифской плиты, а процесс закрытия океанического бассейна Нео-Тетис в пределах Малого Кавказа продолжался вплоть до миоцена [Лебедев и др., 2010]. По данным В.А. Лебедева с соавторами последние отголоски “субдукционного” мезозойского магматизма на Большом Кавказе приходится на начало

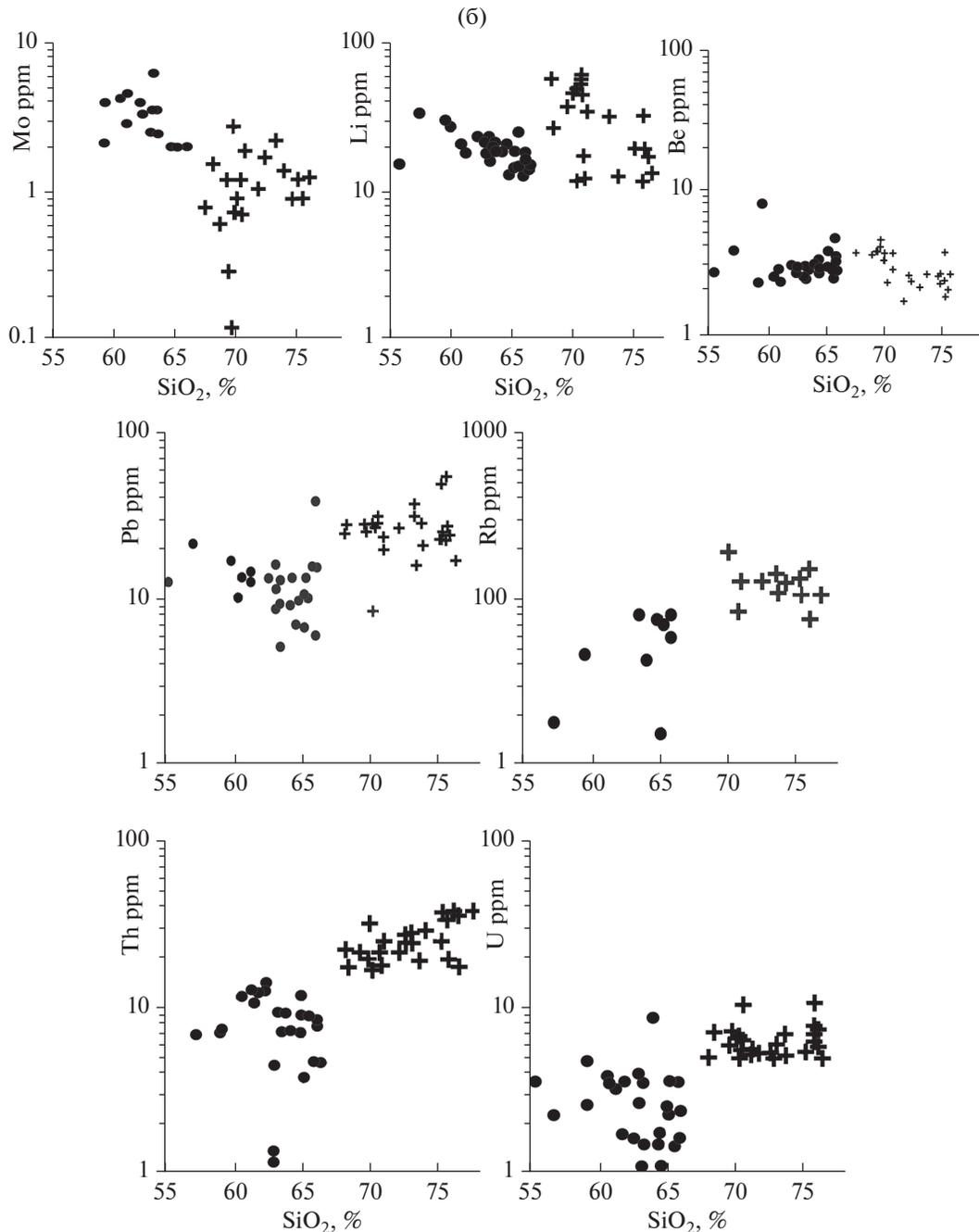


Рис. 5. Окончание

мелового периода. Предкавказье и прилегающая часть Северного Кавказа с конца триаса вступила в платформенную стадию развития. Начиная с юры и по плиоцен включительно здесь сформировалась мощная полого залегающая эвапаритовая ассоциация пород Скифской платформы (плиты) [Геологический атлас ..., 2003; 400 миллионов лет ..., 2005], которую перекрывают игнимбриты с возрастом 2.8 млн лет.

Геодинамические и геотектонические причины возникновения неоген-четвертичного магматизма Большого Кавказа дискуссионны. Наиболее приемлемыми видятся модели сочетания коллизионной обстановки с мантийным диапиризмом типа “горячей точки” (“горячего пятна”) или же латерального растекания в северном направлении по границе “кора—мантия” плюмового вещества из района Восточно-Африканских рифтов [Ершов и

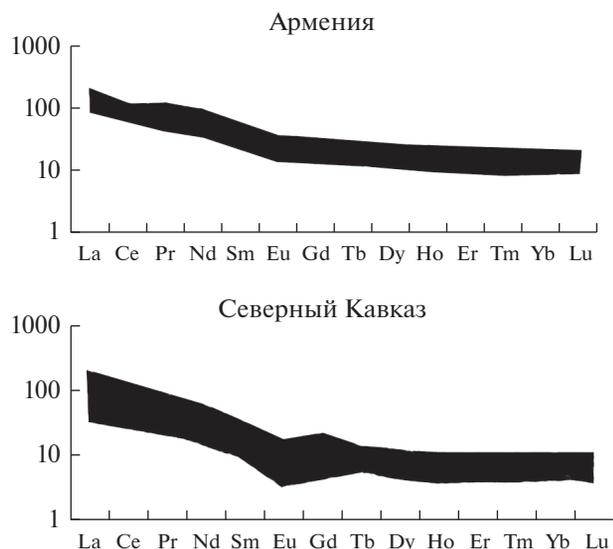


Рис. 6. Характер распределения РЗЭ в игнимбритах Армении и Северного Кавказа, нормализованных по хондриту, по [Evensen et al., 1978].

др., 2001; Ершов, Никишин, 2004]. Согласно первой точки зрения неоген-четвертичный магматизм имеет внутриплитную природу и его развитие происходило при активизации мантийных процессов на фоне конвергенции континентальных литосферных плит. В рамках второй модели, активизация вулканизма в неоген-четвертичное время произошла в результате спровоцированного веществом плюма отрыва и последующего погружения в верхнюю мантию “литосферного корня” (нижней части утолщенной и гранулитизированной в процессе коллизии континентальной коры), что привело также к интенсивному воздыманию горной системы Большого Кавказа [Ершов и др., 2001; Ершов, Никишин, 2004]. Достаточно популярные модели активизации магматизма Большого Кавказа в неоген-четвертичное время в результате развития зон субдукции, либо вследствие отрыва субдукционного слэба на раннеколлизивной стадии развития региона менее обоснованы из-за отсутствия доказательств наличия субдукционного процесса после юры (низов мела?) и существования слэбов под центральной частью Большого Кавказа.

Южнее, Главный Кавказский хребет сложен метаморфизованными палеозойскими отложениями, смятыми в крутые складки с развитием многочисленных надвиговых структур [Большой Кавказ ..., 2007; Патина и др., 2017]. В целом, эти структуры пододвинуты под Скифскую платформу. Горизонтальные перемещения территории на северо-восток со скоростью 26–28 мм/год отмечаются и в настоящее время [Милюков и др., 2015].

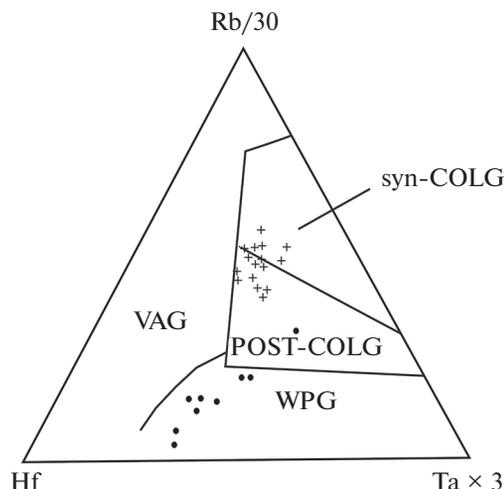


Рис. 7. Дискриминационная диаграмма игнимбритов Армении (кресты) и Северного Кавказа (точки), Rb–Hf–Ta для гранитоидов, по [Harris et al., 1986]. Поля гранитов на диаграмме: WPG – внутриплитные, VAG – вулканических дуг, syn-COLG – синколлизивные, POST-COLG – постколлизивные.

Таким образом, история формирования южной части Тетисид (территория Армении) и их северной части существенно различается. Это находит отражение в строении современной мантии данных регионов [Ершов, Никишин, 2004; Соколов, 2019; Соколов, Трифонов, 2012; Трифонов и др., 2020; Rolland, 2017; Trifonov, Sokolov, 2018]. Главное, что отмечается современными исследователями, это расслоенность мантии, выражающаяся присутствием в вертикальном сечении слоев с разными скоростями прохождения сейсмических волн, что связывается с наличием на разных глубинах зон разогретого материала.

Наличие таких зон является результатом переработки (переплавки) погружающихся слэбов. Здесь, как представляется, первостепенное значение имеет состав материала слэбов. При субдукции фундамента с уже достаточно “зрелой” континентальной корой, скорее всего формируются аллохтонные блоки типа Армянского или Дзирульского массивов. В этом видится причина появления на севере Армении, в районе Ташира, ультракалийевых риодацитовых игнимбритов, не свойственных ареалу игнимбритового магматизма всего Кавказа. При погружении в мантию чехла сформированных структур с его глинисто-карбонатным материалом, где заметна повышенная роль калия и летучих, происходит обогащение глубинного расплава этими компонентами. В этом, на наш взгляд, заключено своеобразие магматитов Армении: более основной их состав при одновременно высоком насыщении калием. Это, конечно, предположение, и требует более глубокой и всесторонней проработки характера воз-

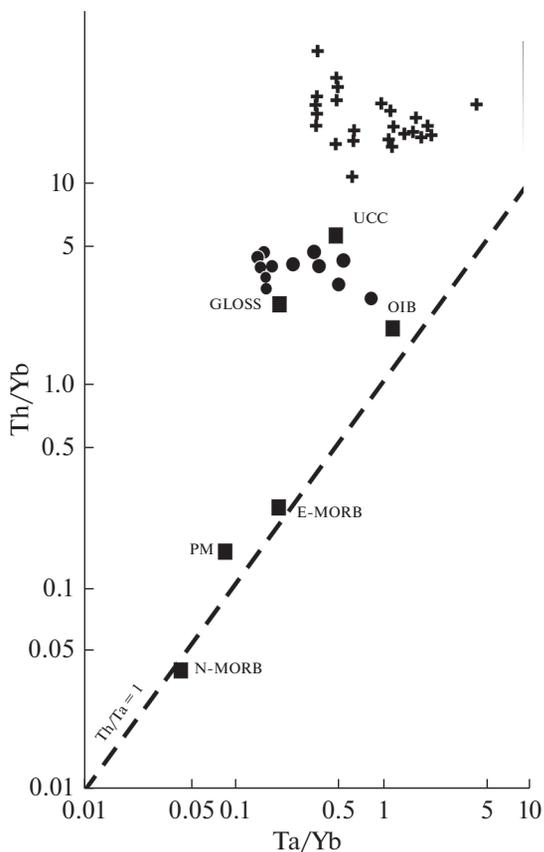


Рис. 8. Диаграмма Th/Yb–Ta/Yb игнимбритов Армении (точки) и Северного Кавказа (кресты). GLOSS – океанические осадки [Plank, Langmuir, 1998], E-MORB и N-MORB – обогащенные и деплетированные базальты срединно-океанических хребтов, OIB – базальты океанических островов, PM – примитивная мантия, UCC – верхняя континентальная кора (средний состав) [Rudnick, Gao, 2003]. Используются анализы табл. 3, 6, а также заимствованы из работ [Бубнов и др., 2016; Короновский и др., 1982; Lipman et al., 1993].

никновения глубинных расплавов. Частично на роль процессов переработки под воздействием мантийных флюидов на адакитовый состав нижнекорового материала уже обращал внимание Х.Б. Меликсетян [Меликсетян, 2012] при формировании Арагацкого массива. Однако влияние этого состава на расплав не столь существенно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на значительные различия по составу игнимбриты Армении и Северного Кавказа имеют общие черты: обилие разнообразных уплощенных образований – фьямме, наиболее ранние из которых имеют четко выраженную эндоконтактовую зону более тонкого строения, широкий диапазон вариаций фьямме по содержанию кремнезема (достигающего около 10 мас. %) и других

петрогенных элементов. Фьямме во всех случаях погружены в стекловатый полосчатый базис, частички которого изогнуты и плавно огибают фьямме.

Игнимбриты Армении более основные: содержание кремнезема в валовых пробах варьирует в пределах 62.38–64.24 мас. %, а во фьямме – в пределах 60.93–65.83 мас. %. Одновременно они более обогащены калием, чем северокавказские игнимбриты. Последние более кремнекислые: SiO₂ в валовых пробах породы составляет 69.56–76.17 мас. %. Примерно в этих же пределах меняется содержание кремнезема и во фьямме у них.

Северокавказские игнимбриты, в отличие от таковых Армении, обеднены V, Zn, Sr, Zr, Ba, Nb, Y и одновременно обогащены Rb, Pb и особенно заметно U и Th. В игнимбритах Северного Кавказа суммарное содержание РЗЭ значительно ниже, чем у армянских пород, но всем им свойственно преобладание легких РЗЭ над тяжелыми РЗЭ.

Вариации индикаторных в петрологическом плане изотопных отношений в игнимбритах и ассоциированных с ними пирокластических образованиях объяснимы их гибридным мантийно-коровым происхождением. Это установлено для ряда неоген-четвертичных магматических образований данного региона [Бубнов и др., 2016; Лебедев и др., 2010]. В Армении изотопные характеристики игнимбритов Арагацкого центра близки к соответствующим параметрам основных лав (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr = 0.70421 при ε_{Nd} = +4.0). Сходная картина подобия изотопных составов Sr и Nd кислых, средних и основных пород выявлена ранее для бимодальной ассоциации четвертичных лав Гегамской неовулканической области Малого Кавказа [Лебедев и др., 2013].

Изотопные данные могут свидетельствовать о том, что в генезисе четвертичных игнимбритов Малого Кавказа ведущим процессом вероятнее всего являлась кристаллизационная дифференциация, чаще всего первично мантийных магм, измененных под воздействием субдукционных процессов [Меликсетян, 2012]. Вместе с тем, приведенные выше геохимические данные и анализ фазовых неоднородностей игнимбритов Арагацкого центра отчетливо указывают на присутствие и AFC процессов в их генезисе.

В целом, эти данные свидетельствуют о более масштабном участии корового материала в петрогенезисе материнских расплавов, давших игнимбриты Северного Кавказа. Различия петро-геохимических и изотопно-геохимических особенностей данных игнимбритов обусловлены спецификой геологической истории развития данных регионов. Армянские игнимбриты тяготеют к океаническим производным, а северокавказские являются магматитами активных конти-

нентальных окраин, переходящих во внутриплитные образования.

Как следует из современных исследований глубинного строения, всему Кавказскому региону свойственна вертикальная расслоенность мантии с наличием низкоскоростных слоев. Особенно резко данное явление проявлено в Армении, где процессы субдукции многократно происходили в течение фанерозоя с многократным отрывом слэбов, погружением их в мантию с дальнейшей переработкой (плавлением) мантийным теплом, а также мощным воздействием тепла Эфиопско–Афарского суперплюма.

Таким образом, в Армении более молодая кора, чем на Северном Кавказе, результатом чего рассматриваемые плиоцен–плейстоценовые (и даже миоцен–плиоценовые, по данным других исследователей) вулканы Армении несут более “мантийные метки”, чем вулканы Северного Кавказа. Это выражается также их большей основностью и большей насыщенностью калием. Последнее, на наш взгляд, обусловлено переработкой оторванных слэбов разной природы. Более детальная проработка этого явления может открыть новые стороны в анализе специфики магматизма конкретных регионов.

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках базовой темы НИР ИГЕМ РАН “Петрология магматизма конвергентных и внутриплитных обстановок: эволюция магматизма в ходе формирования крупных континентальных блоков” (регистрационный № ЕГИСУ НИОКТР 121041500222-4), при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект РФФИ № 14-05-00728) и Программы № 15 фундаментальных исследований Президиума РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абих Г. Геология Армянского нагорья. Западная часть. Орографическое и геологическое описание / Перевод Б.З. Коленко. Пятигорск: Типография А.М. Мануйлова, 1899. 202 с.

Асланян А.Т. Региональная геология Армении. Ереван: Айпетрат, 1958. 430 с.

Богатиков О.А., Гурбанов А.Г., Коваленко В.И. и др. Верхнечегемский кальдерный комплекс на Северном Кавказе // Известия АН СССР. Серия геол. 1992. № 1. С. 5–21.

Большой Кавказ в альпийскую эпоху / Ред. Ю.Г. Леонов. М.: ГЕОС, 2007. 368 с.

Бубнов С.Н., Докучаев А.Я., Курчавов А.М. и др. Sr–Nd изотопная систематика неоген–четвертичных игнимбритов Большого Кавказа // Петрография магматических и метаморфических горных пород // Материалы XII Всероссийского петрографического совещания с

участием зарубежных ученых. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2015. С. 107–109.

Бубнов С.Н., Докучаев А.Я., Курчавов А.М. и др. Плиоценовые игнимбриды Большого Кавказа: вещественный состав и источники расплавов // Науки о Земле. Геология. 2016. № 2. С. 12–51.

Волков В.Н., Аракелянц М.М., Пупырев Ю.Г. Сопоставление К–Аг–систем порфириновых вкрапленников и базиса вулканических пород // Известия АН СССР. Серия геол. 1985. № 6. С. 3–14.

Габриелян А.А. Палеоген и неоген Армянской ССР. Ереван: Изд-во АН Арм. ССР, 1964. 299 с.

Геологический атлас Кавказских Минеральных Вод / Отв. ред. Н.И. Пруцкий. Ессентуки: Министерство природных ресурсов Российской Федерации, ФГУГП “Кавказгеолсъемка”, 2003.

Гущин А.В. Поднеэоценовые высококалийные вулканы Северной Армении // Известия вузов. Геология и разведка. 1994. № 1. С. 17–23.

Демирчян А.Р. Высококалийные риолит–дацитовые туфы Ташира (Лори, Армения) и их применение в качестве эффективного агроудобрения / Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Ереван: ЕГУ, 2009. 22 с.

Джрбашян Р.Т., Гукасян Ю.Г., Карапетян С.Г. и др. Типы вулканических извержений и формы проявления позднеколлизийного наземного вулканизма Армении // Известия НАН РА. Науки о Земле. 2012. Т. 65. № 3. С. 3–20.

Джрбашян Р.Т., Лур Дж., Савов И. и др. Геохимические характеристики позднеколлизийного вулканизма Гегамского нагорья (Армения) // Известия НАН РА. Науки о Земле. 2007. Т. LX. № 1. С. 16–31.

Джрбашян Р.Т., Меликсетян Х.Б., Гукасян Ю.Г. и др. Плинианское извержение вулкана Иринд (Арагацкая вулканическая область, Армения) // Известия НАН РА. Науки о Земле. 2015. Т. 68. № 1. С. 3–21.

Заварицкий А.Н. Игнимбриды Армении // Известия АН СССР. Серия геол. 1947. № 3. С. 3–18.

Качурин Р.Ф., Меликсетян Б.М., Саркисян Г.А. и др. Особенности геологического строения и основные черты рудоносности Зовашен–Варданесской вулканотектонической депрессии (Западный Вайк) // Известия АН Арм. ССР. Науки о Земле. 1975. № 4. С. 3–12.

Короновский Н.В. Геологическое строение и история развития вулкана Эльбрус. Оледенение Эльбруса. М.: Изд-во МГУ, 1968. 346 с.

Короновский Н.В., Демин Л.И. Позднекайнозойский магматизм Большого Кавказа // Большой Кавказ в альпийскую эпоху. М.: ГЕОС, 2007. С. 252–284.

Короновский Н.В., Молявко В.Г., Остафийчук И.М. Петрогеохимическая специализация и условия образования кислых вулканических пород Нижнечегемского вулканического массива Эльбрусской области // Вестник Киевского университета. Прикладная геохимия и петрофизика. 1982. Вып. 9. С. 3–17.

Курчавов А.М. Проблемы диагностики и петрогенезиса игнимбритов // Вулканология и сейсмология. 2009. № 2. С. 3–12.

Лебедев В.А., Чернышев И.В., Чузаев А.В. и др. Геохронология извержений и источники вещества материн-

- ских магм вулкана Эльбрус (Большой Кавказ): результаты K—Ag и Sr—Nd—Pb изотопных исследований // Геохимия. 2010. № 1. С. 45—73.
- Лебедев В.А., Бубнов С.Н., Якушев А.И. Магматическая активность на Северном Кавказе в раннем неоплейстоцене: активные вулканы Эльбрусского центра, хронология и характер извержений // Докл. РАН. 2011. Т. 436. № 1. С. 79—85.
- Лебедев В.А., Чернышев И.В., Шатагин К.Н. и др. Геохронология, изотопные Sr—Nd характеристики и происхождение четвертичных вулканитов Гегамского нагорья (Малый Кавказ, Армения) // Вулканология и сейсмология. 2013. № 3. С. 25—53.
- Лебедев В.А., Чернышев И.В., Сагателян А.К. и др. Мюлоциеновый вулканизм Центральной Армении: геохронология и роль AFC-процессов в петрогенезисе магм // Вулканология и сейсмология. 2018. № 5. С. 18—42.
- Леонов Ю.Г., Волож Ю.А., Антипов М.П. и др. Консолидированная кора Каспийского региона: опыт районирования // Труды ГИН РАН. Вып. 593. М.: ГЕОС, 2010. 64 с.
- Масуренков Ю.П. Кайнозойский вулканизм Эльбрусской вулканической области // Труды ИГЕМ АН СССР. 1961. Вып. 51. 130 с.
- Меликсетян Б.М., Карапетян С.Г., Гукасян Р.Х. и др. Рубидий—стронциевый изотопный состав и геохимические особенности новейших риолитовых вулканитов Армении // Известия НАН РА. Науки о Земле. 1998. Т. LI. № 1—2. С. 40—59.
- Меликсетян Х.Б. Геохимия вулканических серий Арагацкой области // Известия НАН РА. Науки о Земле. 2012. Т. 65. № 3. С. 34—59.
- Милоков В.К., Миронов А.П., Рогожин Е.А. и др. Оценки скоростей современных движений Северного Кавказа по GPS наблюдениям // Геотектоника. 2015. № 3. С. 56—65.
- Патина И.С., Леонов Ю.Г., Волож Ю.А. и др. Крымско-Копетдагская зона концентрированных орогенических деформаций как региональный позднеколлизийный правый сдвиг // Геотектоника. 2017. № 4. С. 17—30.
- Соколов С.Ю. Глубинное геодинамическое состояние и его сопоставление с поверхностными геолого-геофизическими параметрами вдоль субширотного разреза Евразии // Geodynamics and Tectonophysics. 2019. V. 10. Iss. 4. P. 945—957.
- Соколов С.Ю., Трифонов В.Г. Роль астеносферы в перемещении и деформации литосферы: Эфиопско-Афарский суперплюм и Альпийско-Гималайский пояс // Геотектоника. 2012. № 3. С. 1—16.
- Станкевич Е.К. Новейший магматизм Большого Кавказа. Л.: Недра, 1976. 232 с.
- Трифонов В.Г., Соколов С.Ю., Соколов С.А. и др. Мезозойско-кайнозойское тектоническое развитие Черноморско-Крымско-Кавказско-Каспийского региона в сопоставлении со строением верхней мантии // Фундаментальные проблемы тектоники и геодинамики. Материалы ЛII Тектонического совещания. Т. 2. М.: ГЕОС, 2020. С. 343—346.
- Чернышев И.В., Лебедев В.А., Бубнов С.Н. и др. Плиоценовые игнимбриты Приэльбрусья и их место в истории неоген-четвертичного вулканизма Большого Кавказа (изотопно-геохронологические данные) // Докл. РАН. 2011. Т. 436. № 2. С. 247—252.
- Чернышев И.В., Бубнов С.Н., Лебедев В.А. и др. Два этапа эксплозивного вулканизма Приэльбрусья: геохронология, петрохимические и изотопно-геохимические характеристики вулканитов и их роль в неоген-четвертичной истории Большого Кавказа // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2014. Т. 22. № 1. С. 100—130.
- 400 млн лет геологической истории южной части Восточной Европы. Вып. 1. М.: ГЕОКАРТ, ГЕОС, 2005. 388 с.
- Bindeman I.N., Colón D.P., Wotzlaw J.-F. et al. Young Silicic Magmatism of the Greater Caucasus, Russia, with implication for its delamination origin based on zircon petrochronology and thermomechanical modeling // J. Volcanol. Geotherm. Res. J. Pre-proof. 2021. P. 1—47.
- Gazis C.A., Lanphere M., Taylor H.P. et al. ⁴⁰Ar/³⁹Ar and ¹⁸O/¹⁶O studies of the Chegem ash-flow caldera and the Eldjurtja Granite: Cooling of two Pliocene igneous bodies in the Greater Caucasus Mountains, Russia // Earth Planet. Sci. Lett. 1995. V. 134. P. 377—391.
- Castillo P. R. An overview of adakite petrogenesis // Chinese Science Bulletin. 2006. V. 51. № 3. P. 257—268.
- Gevorgyan H., Repstock A., Schulz B. et al. Decoding a post-collision multistage magma system: The Quarternary ignimbrites of Aragats stratovolcano, western Armenia // Lithos. 2018. V. 318—319. P. 267—282.
- Evensen N.M., Hamilton P.J., Onions R.K. Rare-Earth Abundances in Chondritic Meteorites // Geochim. Cosmochim. Acta. 1978. V. 42(8). P. 1.199—1.212.
- Harris N.B.W., Pearce J.A., Tindle A.G. Geochemical characteristics of collision-zone // Magmatism // Geological Society, London, Special Publications. 1986. V. 19(1). P. 67—81.
- Lipman P.W., Bogatikov O.A., Tsvetkov A.A. et al. 2.8 Ma ash flow caldera at Chegem River in the Northern Caucasus Mountain (Russia), cotermporaneous granites and associated ore deposits // J. Volcanol. Geotherm. Res. 1993. № 57. P. 85—124.
- Plank T., Langmuir C.H. The chemical composition of subducting sediment and its consequences for the crust and mantle // Chem. Geol. 1998. V. 145. P. 325—394.
- Popov V.S., Kostitsyn Yu.A., Lyapunov S.V. et al. Volcanic and plutonic facies in Late Pliocene-Quaternary magmatic system of the Northern Caucasus, Russia, and related mineralization // Orebearing granites of Russia and Adjacent Countries. М.: IMGRE, 2000. P. 213—235.
- Rolland Y. Caucasus collisional history: Review of data from East Anatolia to West Iran // Gondwana Research. 2017. V. 49. P. 130—146.
- Rudnick R.I., Gao S. Composition of the continental crust // Treatise on Geochemistry. 2003. V. 3. P. 1—64.
- Trifonov V.G., Sokolov S.Yu. Structure of the mantle and tectonic zoning of the Central Alpine-Himalayan belt // Geodynamics and Tectonophysics. 2018. V. 9. Iss. 4. P. 1127—1145.
- Ziegler M.A. Late Permian to Holocene Paleofacies Evolution of the Arabian Plate and its Hydrocarbon Occurrences // GeoArabia. 2001. V. 6. № 3. P. 444—504.

Petro-Geochemical Differences of Late Cenozoic Ignimbrites on the Lesser and Greater Caucasus as a Consequence of Geodynamic Features of the Formation of these Structures

A. M. Kurchavov*

*Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry Russian Academy of Sciences (IGEM RAS),
Staromonetny lane, 35, Moscow, 119017 Russia*

**e-mail: Kurchavov.kam38@yandex.ru*

The Late Cenozoic ignimbrites of the Lesser (Armenia) and Greater Caucasus (North Caucasus – Elbrus, Lower Chegem and Upper Chegem volcanic massifs) are compared. Armenian ignimbrites contain 60–67 SiO₂ wt %, North Caucasian – 67–76 SiO₂ wt %. The ignimbrites of Armenia belong to moderately alkaline and alkaline formations, and the North Caucasus-to moderately alkaline and normally alkaline. The first of them are more potassium, belong to the high-potassium branch of the lime-alkaline, partly to the shoshonite petrochemical series, and the North Caucasian ignimbrites belong to the high-potassium branch of the lime-alkaline petrochemical series, localized near its border with the low-potassium branch. These ignimbrites also differ in the content of trace elements, REE and isotopic labels. These differences between the ignimbrites of Armenia and the North Caucasus are determined by the different tectonic-magmatic evolution of the regions and, accordingly, the different state of their asthenosphere.

Keywords: Lesser Caucasus, Armenia, Greater Caucasus, Elbrus volcanic massif, Chegem massifs, late Cenozoic, ignimbrites, fiamme, mantle