

**Анатолий Георгиевич Гурбанов**

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН), ведущий научный сотрудник, г. Москва; Владикавказский научный центр Российской академии наук, Комплексный научно-исследовательский отдел, ведущий научный сотрудник, кандидат геолого-минералогических наук, Россия, Владикавказ, e-mail: ag.gurbanov@yandex.ru

**Виктор Магалимович Газеев**

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН), научный сотрудник, г. Москва; Владикавказский научный центр Российской академии наук, Комплексный научно-исследовательский отдел, старший научный сотрудник, кандидат геолого-минералогических наук, Россия, Владикавказ, e-mail: gazeev@igem.ru

**Алексей Борисович Лексин**

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (ИГЕМ РАН), лаборатория «Геоинформатика», специалист, Россия, г. Москва.

**Ольга Александровна Гурбанова**

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, ассистент кафедры минералогии и кристаллохимии, кандидат химических наук, Россия, г. Москва.

## Результаты $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирования субвулканического тела в жерле вулкана Кюкюртли

**Аннотация.** Эльбрус изучается с 1852 г., однако вопросы о времени его образования и временных этапах эволюции до сих пор остаются дискуссионными. По мере развития новых методов датирования геологических событий исследователями Эльбруса применялись все более современные методы и методики. Так, на самых ранних этапах исследований время образования вулкана приблизительно оценивалось только по геологическим данным, затем стал очень широко применяться геолого-геоморфологический метод относительной геохронологии, а с конца прошлого столетия – калий-аргоновый (K-Ar), аргон-аргоновый ( $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ), иониевый ( $^{10}\text{Be}/^{24}\text{U}$ ) и радиоуглеродный ( $^{14}\text{C}$ ) методы датирования. В полученных вышеуказанными методами датировках (цифрах возрастов) по одному и тому же объекту часто имелись существенные различия.

При  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  датировании биотита из туфов риолитового состава раннего этапа кальдерной стадии было доказано, что при эксплозивных извержениях, приведших к формированию этих туфов и ассоциирующихся с ними игнимбритов, был захвачен дезинтегрированный материал древнего гранитно-метаморфического основания Эльбруса, который после аэриального переноса стал составной частью туфов и игнимбритов. Следовательно, все изотопные датировки этого пирокластического материала (по биотиту, пироксену, плагиоклазу) не отражают время образования рассматриваемых пород, так как они содержат мельчайшие обломки древнего гранитно-метаморфического фундамента и слагающего их породообразующего биотита, что, естественно, искажает изотопный возраст пирокластике в неизвестном масштабе.

Устойчивое плато при ступенчатом нагревании пробы № 542 мегакристалла санидина однозначно свидетельствует об отсутствии избыточного аргона, а полученный аргон-аргоновый возраст (620.3±3.3 тыс. лет) отражает время остывания кристалла санидина при температуре закрытия системы ~ 300° С и свидетельствует об отсутствии значительного перерыва во времени между формированием пород раннего и позднего этапов кальдерной стадии.

**Ключевые слова:** вулкан Эльбрус,  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  датирования, субвулканическое тело дацитового состава, жерло вулкана Кюкюртли, удревание или омоложение изотопного возраста.

**Anatoly G. Gurbanov**

Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences (IGEM RAS), Vladikavkaz Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences (VSC RAS), Researcher, PhD, Russia, Moscow, Vladikavkaz, e-mail: ag.gurbanov@yandex.ru

**Victor M. Gazeev**

Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences (IGEM RAS), Vladikavkaz Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences (VSC RAS), Senior Researcher, PhD, Russia, Moscow, Vladikavkaz, e-mail: gazeev@igem.ru

**Alexei B. Lexin**

Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences (IGEM RAS), specialist, Russia, Moscow

**Olga A. Gurbanova**

Moscow State University named after M.V. Lomonosov. (MSU), Faculty of Geology, Department of Mineralogy and Crystal Chemistry, PhD, Russia, Moscow

## Results of $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of subvolcanic body in the vent tunnel Kukurtly volcano

**Abstract.** Elbrus is under study since 1852 year, however the questions about time of its origin and temporal stage of evolution, up to now are remains as a discusstional. So far as development of a new method for dating of geological events, investigators of Elbrus using all more current status of methods and procedures. So, on the very early stages of investigation, time of volcano origin approximately assessed by geological data only, then -geologo-geomorphological method of relative geochronology became in very regular use and from last century - potassium-argon (K-Ar), argon-argonian ( $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ), ionic ( $^{10}\text{Be}/^{24}\text{U}$ ) and radio-carbon ( $^{14}\text{C}$ ) methods of dating. Inobtainedbytheabove-mentionedmethodsofdating (figureofage) oncommon poles object very often there was an fundamental dissimilanties.

As a result of  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating of biotite from tuff of the rhyolite composition of early period of calderian stage, it was proved, that during explosive eruption, lead to forming of these tuff and associated ignimbrites, the old disintegrated material of granite-metamorphic basement of Elbrus was encroach and which after aeral transportation became as a constituent part of tuff and ignimbrites. Consequently, all isotope age determination of this pyroclastic material (on biotite, pyroxene, plagioclase) do not take account of time origin of covered rocks, as they contain a very small debris of old granite-metamorphic basement and rock-building biotite, that natural, to distort of isotope age of pyroclastics in unknown scale.

The tolerant plateau at scalariform heating sample № 542 - megacrystal of sanidine is uniquely testifies about absence of excess argon and argon-argon age (620.3±3.3Ka) obtained is accounts time of cooling down of sanidin megacrystal at the temperature of clousing of the system - 300° C and testifies about absence of significant interruption in time between rock forming of early and late periods of calderian stage

**Keywords:** Elbrus volcano,  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating, subvolcanic body of dacite composition in vent tunnel of Kukurtly volcano.

## ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на то, что геологическое строение, возраст вулкана Эльбрус изучается с 1852 г., вопросы о времени его образования и временных этапах эволюции до сих пор являются остро дискуссионными. Важно отметить, что по мере развития новых методов датирования геологических событий исследователями Эльбруса применялись все более современные методы и методики. Так, на самых ранних этапах исследований время образования вулкана приблизительно оценивалось только по геологическим данным, затем стал очень широко применяться геолого-геоморфологический метод относительной геохронологии, а с конца прошлого столетия – калий-аргоновый (K-Ar), аргон-аргоновый ( $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ), иониевый ( $\text{Ia}/^{234}\text{U}$ ) и радиоуглеродный ( $^{14}\text{C}$ ) методы датирования. Необходимо отметить, что в полученных вышеуказанными методами датировках (цифрах возрастов) по одному и тому же объекту часто имелись существенные различия, что было обусловлено объективными геолого-методическими причинами. Так, в основе относительного геолого-геоморфологического метода датирования лежит анализ соотношений датируемого лавового потока или туфового горизонта с разновозрастными элементами рельефа (поверхности выравнивания, речные террасы) или моренными отложениями датированных этапов оледенения. Метод основан на допущении, что наблюдаемые реликты днищ и склонов древних долин с разновысотными отметками обусловлены одновозрастной эрозионно-гляциальной деятельностью. Этот метод, применительно к вулканическим образованиям Эльбрусского района, использовали М.В. Муратов и М.В. Гзовский [14], К.Н. Паффенгольц [16], Ю.П. Масуренков [12], Е.Е. Милановский и Н.В. Короновский [13]. Но, к сожалению, при его использовании не учитывалась существенная дифференцированность и масштабы вертикальных перемещений при проявлении новейших тектонических движений, которые широко проявлены в пределах глобальной зоны Транскавказского поперечного поднятия (ТПП) и особенно в его западном ограничении, к которому приурочена Эльбрусская кальдера с одноименным вулканом [4, 8].

Первая и наиболее полная схема эволюции вулкана Эльбрус была разработана Н.В. Короновским [10]. Используя геолого-геоморфологический метод, он выделил в строении вулкана шесть разновозрастных толщ, объединенных в два крупных комплекса. Нижний включает позднеплиоценовые и позднеплиоцен-раннеплейстоценовые игнимбри-ты, лавы, лавобрекчии риолитового, риодацитового и дацитового составов. Верхний (менее мощный комплекс) сложен средне-позднеплейстоценовыми лавами, лавобрекчиями и голоценовыми туфол-авами, лавами, лавобрекчиями андезидацитового и дацитового составов. Однако, в связи с тем, что им не учитывались значительные неотектонические вертикальные перемещения отдельных блоков как внутри кальдеры, так и за ее пределами, был сделан

некорректный вывод о возрастах некоторых вулканических горизонтов. Так, ряд выходов с реликтами толщи туфолав и ассоциирующих с ними лав, обнажающихся в истоках р. Бийтик-Тебе и еще «непропильных» современными реками, был отнесен [10] к голоценовым образованиям. Это привело к соответствующему ошибочному омолаживанию всех вышележащих вулканических толщ, развитых в южной и юго-западной частях стратовулкана. По одной пробе, продатированной  $^{14}\text{C}$  методом, он считал, что последние извержения Эльбруса произошли около 3 тыс. лет тому назад.

Позже Е.К. Станкевич [18] на основании изучения состава пород, их фаций, морфологии, структурно-тектонического положения, данных K-Ar, иониевого ( $\text{Ia}/^{234}\text{U}$ ) и  $\text{Pa}/^{235}\text{U}$  методов датирования и палеомагнитного анализа, выделил в строении вулкана три разновозрастных вулканических комплекса. Первый, наиболее древний, включает игнимбри-ты, ассоциирующие с ними туфы, а также агломератовые лавы, лавобрекчии риолитового состава. По биотиту из игнимбри-тов р. Ирикчат и из риолитов р. Уллукам K-Ar методом были получены цифры возраста 6,0 и 1,45 млн лет, а по плагиоклазу – 6,7 и 0,6 млн лет соответственно. Второй комплекс включает андезидациты и дациты долины р. Баксан и Малкинский поток. По плагиоклазу из андезидацитов р. Азау (Баксан) K-Ar методом была получена цифра 400 тыс. лет, иониевым ( $\text{Ia}/^{234}\text{U}$  и  $\text{Pa}/^{235}\text{U}$ ) методом для Малкинского потока получена цифра 150 тыс. лет, а по вышележащим туфам – 58 тыс. лет. К третьему, голоценовому, комплексу отнесены прекрасно сохраняющие свою морфологию глыбовые (AA) лавы и маломощные горизонты туфов андезидацитового и дацитового составов. Для лав этого комплекса из истоков р. Малки иониевым методом была получена цифра возраста 14 тыс. лет. Считалось [18], что K-Ar и иониевые датировки, в ряде случаев, дали значительное удешевление возраста вулканических образований. На основании геологических, радиологических и палеомагнитных данных Е.К. Станкевич [18] пришел к выводу о том, что вулкан Эльбрус начал формироваться в самых верхах плиоцена (поздний апшерон), а его активность продолжалась в течение плейстоцена и завершилась в голоцене, соответствуя, в целом, эпохе прямой магнитной полярности Брюнеса (0–0, 7 млн лет).

Существенный вклад в расшифровку истории развития Эльбруса внесли результаты проведенного в последние годы И.В. Чернышевым и др. [20, 22], С.Н. Бубновым и др. [6, 7], В.А. Лебедевым [11] и др. K-Ar датирования отдельных лавовых потоков из верховий рек Баксан, Малка, Бийтик-Тебе и Тызыл. Они показали, что активность вулкана была в интервале времени от среднего до позднего неоплейстоцена-голоцена, при общей продолжительности периода вулканической активности не более 250 тыс. лет. Первый этап активности приходился на временной интервал 225–160 тыс. лет, а второй, после короткого перерыва, был в конце позднего неоплейстоцена (менее 80 тыс. лет тому назад) и, воз-

можно, продолжался в голоцене. К-Аг датирование игнимбригов и ассоциирующих с ними туфов риолитового состава, относимых большинством исследователей к ранним стадиям (комплексам) эволюции вулкана Эльбрус, проводилось по различным порообразующим минералам, основной массе породы и фьямме (стеклу). По низкокалийным минералам (плагиоклаз, пироксен), в которых был установлен избыточный  $^{40}\text{Ar}$ , были получены очень древние и геологически бессмысленные (15,7 и 2,7 млн лет) значения К-Аг возраста [20]. По высококалийным фазам (биотит, основная масса и стекло) были получены близкие значения К-Аг возрастов в пределах от 740 до 880 тыс. лет. На основании этих данных был сделан вывод о том, что эксплозивные извержения, приведшие к формированию пирокластических горизонтов (игнимбриговых и туфовых) в пределах Эльбрусского вулканического центра (ЭВЦ), имели место 800–900 тыс. лет тому назад. Значительный разрыв во времени (более 650 тыс. лет) между формированием пирокластических горизонтов и излиянием лавовых потоков вулкана Эльбрус объяснялся [20] тем, что эксплозивная деятельность не была непосредственно связана с активностью вулкана Эльбрус. Эти исследователи, на основании разработанной ими К-Аг геохронологической методики, пришли к очень важному выводу о том, что при датировании новейших лав в качестве геохронометра предпочтительно использовать основную массу породы. Ими также было показано, что минералы-вкрапленники в лавах обычно содержат избыточный аргон и поэтому не пригодны для датирования [20].

В заключение необходимо отметить, что имеющиеся единичные К-Аг,  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  и  $\text{Io}/^{234}\text{U}$  датировки по основной массе породы и по порообразующим минералам довольно противоречивы и, кроме того, имеют жесткие методические ограничения. Для решения проблемы возрастного датирования стадий и этапов в эволюции ЭВЦ необходимо проведение специальных исследований с применением новых методов. Например, с геологической и геоморфологической точек зрения большинство цифр возрастов, полученных К-Аг методом, дали удревленные (в неизвестном масштабе) значения. Все применяемые методы датирования [18; 4; 5; 9; 12; 14; 20; 11; 8] имеют как положительные, так и отрицательные стороны.

Так, К-Аг и  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  методами обычно надежно определяются возраста не моложе 150–200 тыс. лет, а ошибка при измерении возрастов моложе 100–70 тыс. лет составляет уже от 45 до 85 %. Частая высокая степень насыщенности атмосферным аргоном при очень низкой концентрации радиогенного ( $^{40}\text{Ar}_{\text{рад}}$ ) или при присутствии избыточного  $^{40}\text{Ar}$  в породе или минерале обычно не дают возможности для датирования или же резко удревляют полученные значения К-Аг возрастов. Отметим также, что многими исследователями, при отборе проб для датирования, не учитывался факт термального воздействия, так как при непосредственном налегании излившегося (температура гомогенизации расплавных включений в

минералах и стекле составляла 1100–1170°С [19]) более молодого лавового потока на уже остывший более древний лавовый поток последний мог прогреваться на значительную часть своей мощности до температур более 300°С (т. е. температуры закрытия К-Аг системы), что обязательно приводило к существенному искажению К-Аг возраста этого более древнего (нижележащего) лавового потока.

Следовательно, имеется временной интервал продолжительностью в 200–250 тыс. лет, который не может быть продатирован вышеуказанными методами и является как бы «мертвой» зоной. Перекрыть его мы попытались при помощи метода ЭПР (спектроскопия электронного парамагнитного резонанса) датирования по порообразующему кварцу, позволяющему датировать события в интервале времени от 3 млн лет до 500 лет [23].

В процессе комплексных исследований (1997–2008 гг.) Эльбрусского вулканического центра нами [1–5; 17; 15], на основании геологического картирования, изучения взаимоотношений лавовых потоков в разрезах по долинам различных рек и их последующей корреляции по геологическим и петролого-геохимическим данным, результатам изотопного и ЭПР датирования, в его эволюции были выделены стадии: докальдерная; кальдерная с ранним и поздним этапами и посткальдерная с позднеплейстоценовым (ранним) и голоценовым (поздним) этапами.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗОТОПНО-ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКОГО ДАТИРОВАНИЯ $^{40}\text{AR}/^{39}\text{AR}$ МЕТОДОМ СУБВУЛКАНИЧЕСКИХ ДАЦИТОВ КАЛЬДЕРНОЙ СТАДИИ

**Кальдерная стадия (ранний этап)** представлена залегающими в основании вулканической постройки наиболее кислыми по составу породами – риолитами и риодацитами с синхронными и идентичными им по составу реликтами толщи игнимбригов и туфов. Причем игнимбриги присутствуют как внутри Эльбрусской кальдеры (истоки рек Кюкюртли, Бийтик-Тебе, Малка, Ирик), так и за ее пределами (г. Тузлук, р. Чемарткол и устьевая часть р. Бийтик-Тебе). По основной массе игнимбригов р. Бийтик-Тебе были получены цифры (в тыс. лет)  $810 \pm 90$  и  $880 \pm 70$  по стеклу,  $2\,700 \pm 500$  по пироксену и  $15\,700 \pm 1000$  по плагиоклазу [20]. Полученные цифры не имели геологического смысла и поэтому мы провели, с методическими целями, датирование этих же пород  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  методом и методом U-Pb SHRIMP RG цирконометрии (результаты этих исследований будут опубликованы в отдельной статье).

Датирование  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  методом проведено в Лаборатории радиогенных и стабильных изотопов Объединенного института геологии, геофизики и минералогии Сибирского отделения РАН (г. Новосибирск) по пробе биотита, отобранной из туфа риолитового состава в долине р. Бийтик-Тебе. Выделенный из этой пробы мономинеральный биотит был разделен методом электромагнитной сепарации на 9 фракций с разной электромагнитной восприимчивостью. Все

фракции были продатированы этим методом со ступенчатым нагреванием. В результате выявлены следующие возрастные ступеньки (в млн лет):  $296 \pm 2.7$ ;  $554 \pm 3.2$ ;  $76 \pm 0.6$ ; а дальше вариации возрастных ступенек распределились от 45 до 1.17 млн лет. Первая из них – 296 млн лет – практически полностью соответствует возрасту гранитов позднепалеозойской диорит-гранитной формации, вторая – 554 млн лет – времени метаморфизма слюдяных сланцев, слагающих цоколь вулкана, а все остальные цифры не имеют геологического смысла. Результаты этих исследований позволили прийти к выводу о том, что при эксплозивных извержениях, в результате которых сформировались рассматриваемые туфы и ассоциирующие с ними игнимбриты, был захвачен дезинтегрированный материал древнего гранитно-метаморфического основания Эльбруса, который после аэриального переноса стал составной частью туфов и игнимбритов. Следовательно, все изотопные датировки этого пирокластического материала не отражают время образования рассматриваемых пород, так как они содержат мельчайшие обломки древнего гранитно-метаморфического фундамента и слагающего их биотита. С геологической точки зрения вышеприведенные цифры удревнены в неизвестном масштабе.

Учитывая эти данные и методические рекомендации по подготовке проб для датирования, в лаборатории изотопной геохимии и геохронологии ИГЕМ РАН М.М. Аракелянц определен К-Аг возраст внекальдерных игнимбритов р. Чемарткол (проба № 53-2/97) по основной массе породы. Датирование проводилось на масс-спектрометре МИ-1201 ИГ методом изотопного разбавления с применением трасера  $^{38}\text{Ag}$  [21]. При расчете возраста использованы константы:  $\lambda_K = 0.581 \cdot 10^{-10} \text{ год}^{-1}$ ,  $\lambda_B = 4.962 \cdot 10^{-10} \text{ год}^{-1}$ ,  $^{40}\text{K} = 0.01167$  (ат. %). Определение содержания калия производилось методом пламенной спектрофотометрии. Отбор пробы игнимбритов сопровождался тщательной сортировкой материала, с полным удалением из него всех ксенолитов посторонних пород (палеозойских гранитоидов, допалеозойских слюдяных сланцев и гнейсов, девонских филлитов, известняков и вулканитов). Кроме того, после дробления из материала пробы был удален весь биотит в связи с имеющимся в лаборатории опытом датирования вулканитов Казбека, так и с методическими исследованиями, показавшими, что по биотиту получаются «завышенные» на 60–300 % цифры датировок. Объяснение такого феномена требует самостоятельных методических исследований. При датировании пробы № 53-2/97 игнимбритов р. Чучур была получена цифра  $790 \pm 70$  тыс. лет (навеска 87.08 мг с содержанием  $\text{K} = 2.88 \pm 0.04$  мас. % и  $^{40}\text{Ag}_{\text{рад}} = 0.158 \pm 0.008$  нг/г, при общем количестве воздушного  $^{40}\text{Ag}$  в опыте 0.22 нг), которая, вероятнее всего, соответствует времени образования кальдеры. Однако не исключено, что К-Аг возраст игнимбритов может быть искажен за счет избыточного аргона. Поэтому, для получения надежных датировок игнимбритов, было проведено их датирование по цирконам мето-

дом U-Pb SHRIM PRG цирконометрии (результаты будут опубликованы в отдельной статье).

**Поздний этап кальдерной стадии** ознаменовался излияниями лав дацитового состава в верховьях рр. Бийтик-Тюбе, Кюкюртли, Уллу-кам, Сылтрансу и формированием ряда субвулканических тел дацитового состава. По данным датирования К-Аг методом [21], извержения этого этапа (излияния лавовых потоков в районе астрономической обсерватории на пике Терскол, а также в верховьях р. Бийтик-Тебе и самого протяженного Малкинского потока) имели место 215–250 тыс. лет назад.

Для получения надежной информации о времени начала проявления позднего этапа кальдерной стадии были продатированы  $^{40}\text{Ag}/^{39}\text{Ag}$  методом мегакристаллы (около 2.0 см по удлинению) санидина (проба 542) из самого крупного субвулканического тела, обнажающегося в жерле «древнего» вулкана Кюкюртли. Определение возраста осуществлялось в лаборатории Стенфордского университета (США) при помощи сотрудников отдела «Вулканология и геотермия» Геологической службы США в Менло Парке (Калифорния) проф. Питера Липмана и проф. Джака Ловенштерна, за что выражаем им искреннюю благодарность.

#### МЕТОДИКА ПОДГОТОВКИ ПРОБ ДЛЯ АНАЛИЗА

Проба готовилась следующим образом: из одного монокристалла санидина, размером до 2 см в ширину и по удлинению, выделены все необходимые для исследований части пробы. Кристалл санидина был раздроблен, а затем путем расситования была выделена для эксперимента фракция размером 300–500 микрон. Эта фракция обрабатывалась ультразвуком в течение 10 минут, после чего ее магнитные составляющие были удалены с помощью магнитного сепаратора «Frantz». Немагнитные остатки обрабатывались в течение 5 минут 7.5 % HF (плавиковой кислотой), а затем они вновь подверглись 3-минутной высокоомощной ультразвуковой обработке.

Из полученного для датирования материала вручную удалялись кусочки санидина с темными включениями и пятнами. В итоге было выделено 232 мг материала, пригодного для анализа. Из этого материала было выделено 20 крупных зерен, которые после их упаковки облучались в течение 2 часов вместе со стандартом Taylor Creek Sanidine (TCR-2) с возрастом 27.87 тыс. лет.

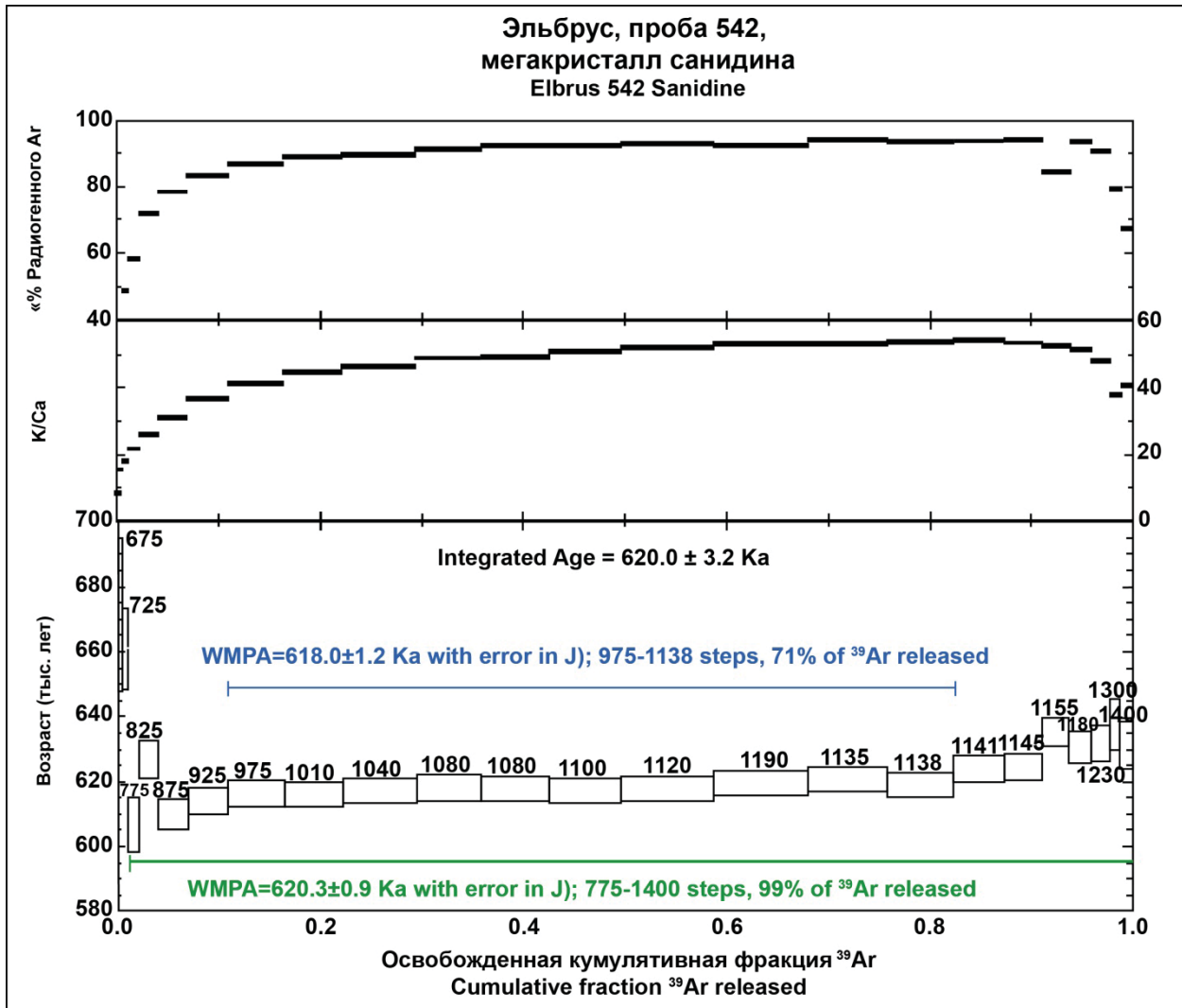
#### РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Построенный после анализа частей пробы (табл. 1) характер кривой ступенчатого нагревания был (рис. 1) идентичен всем датированным в лаборатории высококачественным санидинам. После первых небольших ступеней повышения температуры, сопровождавшихся высоким уровнем неопределенности и кажущимися древними возрастными, образец дегазировался в широком температурном

Таблица 1 Table 1

Результаты исследования пробы (№ 542) санидина при ступенчатом нагреве  
Results of sanidine sample (№542) investigation on scalariform heating

| Тер градус С<br>Temp | Возраст (млн. лет)<br>Age(Ma) | K/Ca | %rad  | $\Sigma^{39}Ar$ | $40^{*}/^{39}K$ | $40^{*}$ (moles) | 39/36          | 40/36          | 39/40           | 36/40           |
|----------------------|-------------------------------|------|-------|-----------------|-----------------|------------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 550                  | -1.967±1.497                  | 1.3  | -10.0 | 0.00            | -2.62313        | -2.85E-16        | 10.22±0.73     | 268.70±19.01   | 3.80e-2±2.75e-4 | 3.72e-3±2.63e-4 |
| 625                  | 0.754±0.055                   | 8.2  | 13.7  | 0.00            | 1.00571         | 3.15E-15         | 46.59±0.62     | 342.35±3.96    | 0.14±4.00e-4    | 2.92e-3±3.38e-5 |
| 675                  | 0.671±0.024                   | 15.5 | 28.9  | 0.00            | 0.8962641       | 6.46E-15         | 134.12±2.10    | 415.71±5.96    | 0.32±1.02e-3    | 2.41e-3±3.45e-5 |
| 725                  | 0.661±0.013                   | 17.9 | 48.6  | 0.01            | 0.8822266       | 1.23E-14         | 316.72±5.88    | 574.92±10.08   | 0.55±2.02e-3    | 1.74e-3±3.05e-5 |
| 775                  | 0.607±0.008                   | 21.7 | 58.6  | 0.02            | 0.810009        | 1.84E-14         | 516.46±9.58    | 713.84±12.58   | 0.72±2.99e-3    | 1.40e-3±2.47e-5 |
| 825                  | 0.626±0.005                   | 25.8 | 72.2  | 0.04            | 0.8336068       | 3.57E-14         | 917.21±16.19   | 1062.35±17.83  | 0.86±3.94e-3    | 9.41e-4±1.58e-5 |
| 875                  | 0.610±0.005                   | 31.3 | 78.5  | 0.07            | 0.8139567       | 5.13E-14         | 1328.57±23.08  | 1376.90±22.84  | 0.96±4.72e-3    | 7.26e-4±1.20e-5 |
| 925                  | 0.614±0.004                   | 36.6 | 83.4  | 0.11            | 0.8196361       | 7.13E-14         | 1809.62±31.09  | 1778.73±29.25  | 1.02±5.16e-3    | 5.62e-4±9.24e-6 |
| 975                  | 0.616±0.004                   | 41.4 | 87.0  | 0.16            | 0.8224789       | 1.00E-13         | 2397.31±39.36  | 2267.23±35.58  | 1.06±5.51e-3    | 4.41e-4±6.92e-6 |
| 1010                 | 0.616±0.004                   | 44.6 | 89.1  | 0.22            | 0.822387        | 1.04E-13         | 2945.18±55.82  | 2717.58±49.87  | 1.08±5.74e-3    | 3.68e-4±6.75e-6 |
| 1040                 | 0.617±0.004                   | 46.6 | 89.8  | 0.29            | 0.8234234       | 1.32E-13         | 3157.43±51.91  | 2895.40±45.61  | 1.09±5.80e-3    | 3.45e-4±5.44e-6 |
| 1060                 | 0.618±0.004                   | 49.0 | 91.1  | 0.36            | 0.8246651       | 1.16E-13         | 3658.14±76.03  | 3312.24±67.10  | 1.10±5.93e-3    | 3.02e-4±6.12e-6 |
| 1080                 | 0.618±0.004                   | 49.5 | 92.5  | 0.42            | 0.8240633       | 1.20E-13         | 4403.42±104.89 | 3924.19±91.74  | 1.12±6.09e-3    | 2.55e-4±5.96e-6 |
| 1100                 | 0.617±0.004                   | 50.9 | 92.3  | 0.50            | 0.8239617       | 1.28E-13         | 4327.29±95.46  | 3861.02±83.32  | 1.12±6.08e-3    | 2.59e-4±5.59e-6 |
| 1120                 | 0.618±0.004                   | 52.2 | 92.8  | 0.59            | 0.8245325       | 1.68E-13         | 4614.69±85.35  | 4100.46±73.49  | 1.13±6.12e-3    | 2.44e-4±4.37e-6 |
| 1130                 | 0.620±0.004                   | 53.0 | 92.5  | 0.68            | 0.8269538       | 1.67E-13         | 4389.33±78.09  | 3925.27±67.46  | 1.12±6.06e-3    | 2.55e-4±4.38e-6 |
| 1135                 | 0.621±0.004                   | 53.3 | 94.3  | 0.76            | 0.8284216       | 1.44E-13         | 5903.28±156.16 | 5185.91±135.18 | 1.14±6.25e-3    | 1.93e-4±5.03e-6 |
| 1138                 | 0.619±0.004                   | 53.6 | 93.7  | 0.82            | 0.8263433       | 1.17E-13         | 5363.71±157.66 | 4727.77±137.31 | 1.13±6.21e-3    | 2.12e-4±6.14e-6 |
| 1141                 | 0.624±0.004                   | 54.2 | 93.8  | 0.87            | 0.8327581       | 9.27E-14         | 5403.96±201.08 | 4795.69±177.10 | 1.13±6.14e-3    | 2.09e-4±7.70e-6 |
| 1145                 | 0.625±0.004                   | 53.5 | 94.4  | 0.91            | 0.8338421       | 6.76E-14         | 5936.82±329.94 | 5245.87±290.57 | 1.13±6.18e-3    | 1.91e-4±1.06e-5 |
| 1155                 | 0.635±0.005                   | 52.8 | 84.6  | 0.94            | 0.8480559       | 5.17E-14         | 1913.60±47.19  | 1918.34±46.31  | 1.00±4.99e-3    | 5.21e-4±1.26e-5 |
| 1180                 | 0.631±0.005                   | 51.4 | 93.5  | 0.96            | 0.8417509       | 3.89E-14         | 5084.29±422.85 | 4575.21±379.92 | 1.11±5.99e-3    | 2.19e-4±1.81e-5 |
| 1230                 | 0.632±0.005                   | 48.4 | 90.9  | 0.98            | 0.8430694       | 3.42E-14         | 3503.86±229.04 | 3249.50±211.86 | 1.08±5.69e-3    | 3.08e-4±2.01e-5 |
| 1300                 | 0.638±0.008                   | 37.7 | 79.5  | 0.99            | 0.8512176       | 1.99E-14         | 1349.50±59.36  | 1444.22±63.08  | 0.93±4.48e-3    | 6.92e-4±3.02e-5 |
| 1400                 | 0.631±0.007                   | 40.8 | 67.4  | 1.00            | 0.8420905       | 2.28E-14         | 725.26±15.48   | 906.23±18.66   | 0.80±3.50e-3    | 1.10e-3±2.27e-5 |



**Рис. 1.** Возрастное плато для мегакристалла санидина, полученное <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar методом при ступенчатом нагревании

**Fig. 1.** Age plateau for sanidine megacrystal, obtained by <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar method during on steps heating

интервале с возрастающими возрастами. Все данные, за исключением первого 1 % газа, находятся в пределах ошибки 2σ по отношению к плато с интерпретируемым возрастом. Однако отмечается отчетливое 2–3 % увеличение по ходу эксперимента. Это объясняется, скорее всего, фракционированием <sup>39</sup>Ar по отношению к <sup>40</sup>Ar, и в этом эксперименте получены дополнительные данные об увеличении отноше-

ния K/Ca, что, возможно, также связано с фракционированием <sup>37</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar.

При анализе этой пробы установлено отсутствие избыточного аргона, и возраст породы соответствует ~ 620 тыс. лет. При интерпретации результатов измерений использовалось 99 % газа на плоской части спектра (плато), потому что обычно санидины характеризуются возрастными градиентами при ступенчатом

**Таблица 2 Table 2**

Средневзвешенный возраст (по плато) мегакристалла санидина из  
субвулканического тела в жерле вулкана Кюкюртли  
Weighted average age (on plateau) sanidine megacrystal from  
subvolcanic body in the vent funnel of Kukurtly volcano

| Проба<br>Sample           | Минерал<br>Mineral  | Средневзвешенный<br>возраст (тыс. лет)<br>WeightedMean (Ka) | Средний возраст (тыс.<br>лет)<br>IntegratedAge (Ka) | Изохронный возраст<br>(тыс. лет)<br>IsochronAge (Ka) |
|---------------------------|---------------------|---|---|--|
| Эльбрус 542<br>Elbrus 542 | Санидин<br>Sanidine | 620.3 ± 3.2   | 620.0 ± 3.2   | 620.3 ± 4.7  |

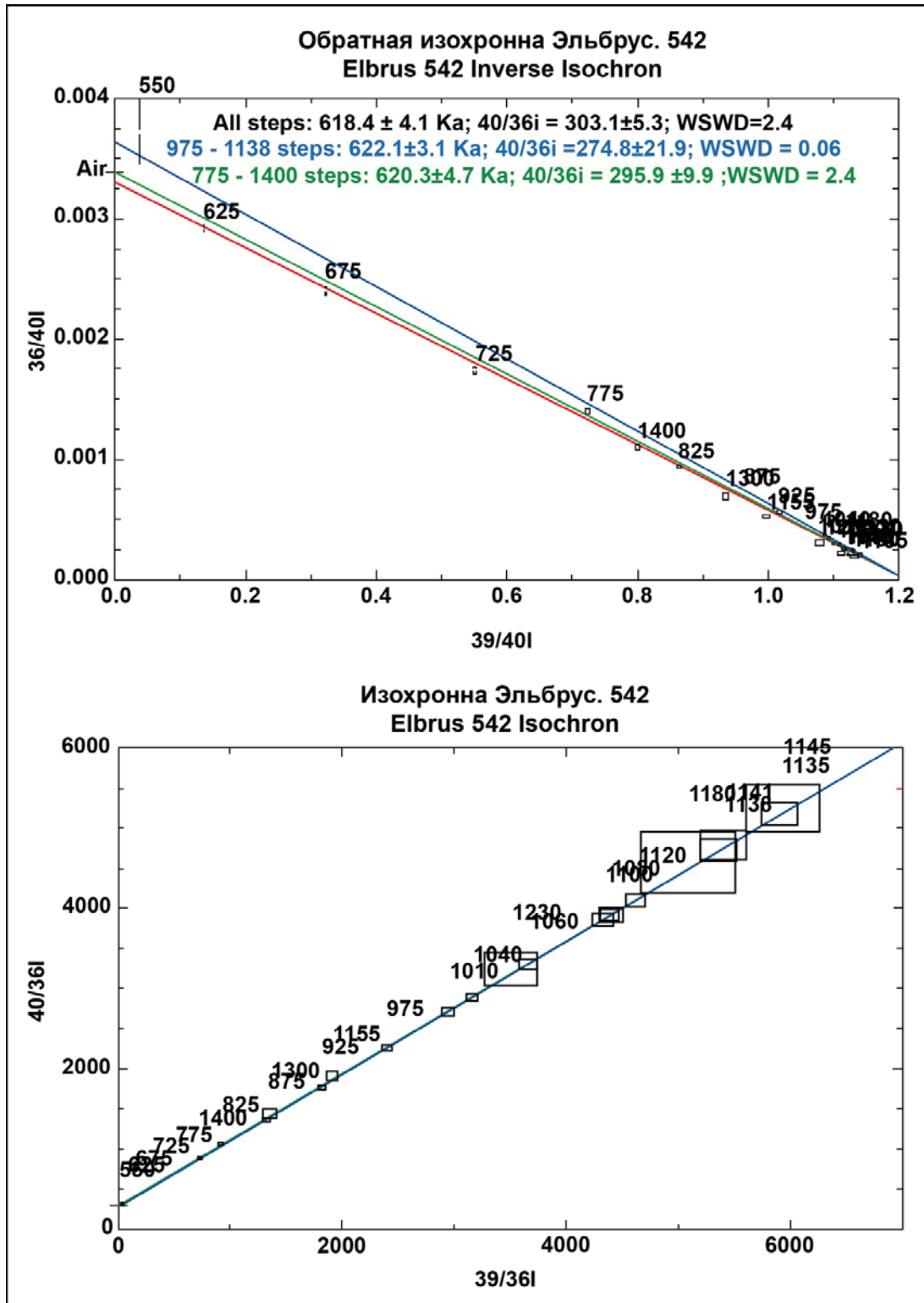


Рис. 2. Обратная изохронна по мегакристаллу санидина в координатах отношений изотопов аргона 39/40 и 36/40  
 Fig. 2. Inverse isochronon megacrystal of sanidine in co-ordinates of isotope argon 39/40 and 36/40 ratio/

Рис. 3. Изохронна по мегакристаллу санидина в координатах отношений изотопов аргона 39/36 и 40/36 (возраст  $620.3 \pm 4.7$  тыс. лет)  
 Fig. 3. Isochron on megacrystal of sanidine in co-ordinate of argon isotope 39/36 and 40/36 ratio 36 (age  $620.3 \pm 4.7$  Ka).

нагреве, включая как исследуемый, так и стандартный образцы, которые изучались после их облучения. Поскольку при мониторинге нашей пробы использовался весь объем газа, то и при интерпретации возраста санидина также использовался весь объем газа.

В итоге было получено очень устойчивое плато (рис. 1) со средневзвешенным возрастом  $620.3 \pm 3.3$  тыс. лет и изохроны (рис. 2 и 3), отвечающие возрасту  $620.3 \pm 4.7$  тыс. лет (табл. 2). Устойчивое плато при ступенчатом нагревании исследуемой пробы однозначно свидетельствует об отсутствии избыточного аргона. Полученный аргон-аргоновый возраст отражает время остывания кристалла санидина при температуре закрытия системы  $\sim 300^\circ\text{C}$ . Если это так, то кристалл должен был сформироваться несколько раньше 620 тыс. лет тому назад. Полученный возраст субвулканического тела хорошо согласуется с геологическими данными и подтверждает наш вывод о том, что между формированием пород раннего и позднего этапов кальдерной стадии не было значительного перерыва во времени.

### ВЫВОДЫ

1. Установлено [Станкевич, 1976], что К-Аг и иониевые датировки в ряде случаев дали значительное удревнение возраста вулканических образований Эльбруса.

2. Показано, что, по данным К-Аг датирования [Чернышев и др., 2000, 2001; Лебедев и др., 2006; Бубнов и др., 1995, 2004; Лебедев и др., 2006] ряда лавовых потоков из верховий рек Баксан, Малка, Бийтик-Тебе и Тызыл, активность вулкана была в интервале времени от среднего до позднего неоплейстоцена-голоцена, при общей продолжительности периода вулканической активности не более 250 тыс. лет. Эксплозивные извержения с формированием пирокластических горизонтов (игнимбритовых и туфовых) происходили 800–900 тыс. лет тому назад.

3. На основании разработанной [Чернышев, Лебедев и др., 2001] К-Аг геохронологической методики сделан очень важный вывод о том, что при датировании новейших лав в качестве геохронометра предпочтительно использовать основную массу породы, а также было показано, что минералы-вкрапленники в лавах обычно содержат избыточный аргон и поэтому непригодны для датирования.

4. Показано, что многими исследователями, при отборе проб для датирования, не учитывался факт термального воздействия, заключающийся в том,

что при непосредственном налегании изливающегося (температура гомогенизации расплавных включений в минералах и стекле составляла  $1\ 100\text{--}1170^\circ\text{C}$  [Толстых и др., 2001]) более молодого лавового потока на уже остывший более древний лавовый поток, последний мог прогреваться на значительную часть своей мощности до температур более  $300^\circ\text{C}$  (т. е. температуры закрытия К-Аг системы), что обязательно приводило к существенному искажению К-Аг возраста этого более древнего (нижележащего) лавового потока в неизвестном масштабе.

5. При  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  датировании 9 фракций биотита с различной электромагнитной восприимчивостью, выделенных из горизонта туфов риолитового состава раннего этапа кальдерной стадии, были получены следующие возрастные ступеньки (в млн лет):  $296 \pm 2.7$ ;  $554 \pm 3.2$ ;  $76 \pm 0.6$ ; а дальше вариации возрастных ступенек от 45 до 1.17 млн лет. Первая из них – 296 млн лет – соответствует возрасту гранитов позднепалеозойской диорит-гранитной формации, вторая – 554 млн лет – времени метаморфизма слюдяных сланцев, слагающих цоколь вулкана, а все остальные цифры не имеют геологического смысла. Эти данные позволили прийти к выводу о том, что при эксплозивных извержениях, в результате которых сформировались рассматриваемые туфы и ассоциирующие с ними игнимбриты, был захвачен дезинтегрированный материал древнего гранитно-метаморфического основания Эльбруса, который после азрального переноса стал составной частью туфов и игнимбритов. Следовательно, все изотопные датировки этого пирокластического материала не отражают времени образования рассматриваемых пород, так как содержат мельчайшие обломки древнего гранитно-метаморфического фундамента и слагающего их биотита, плагиоклаза, пироксена, что, естественно, искажает изотопный возраст пирокластиков.

6. Устойчивое плато при ступенчатом нагревании пробы № 542 мегакристалла санидина однозначно свидетельствует об отсутствии избыточного аргона, а полученный аргон-аргоновый возраст отражает время остывания кристалла санидина при температуре закрытия системы  $\sim 300^\circ\text{C}$ . Полученный возраст ( $620.3 \pm 3.2$  тыс. лет) субвулканического тела хорошо согласуется с геологическими данными и подтверждает наш вывод о том, что между формированием пород раннего и позднего этапов кальдерной стадии не было значительного перерыва во времени.

*Работа подготовлена в рамках плана НИР КНИО ВНИЦ РАН при финансовой поддержке гос. темы регистрационный номер АААА-А19-119040190054-8 и в рамках базовой темы Лаборатории петрографии ИГЕМ РАН «Петрология и минералогия магматизма конвергентных и интратипитных обстановок: история формирования крупных континентальных блоков».*

*Авторы выражают искреннюю благодарность руководителю отдела «Вулканология и геотермия» Геологической службы США в Менло Парке (Калифорния) профессору Питеру Липману и сотруднику этого отдела профессору Джэку Ловенштерну за датирование пробы санидина в лаборатории Стенфордского университета (США).*



## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Богатилов О.А., Гурбанов А.Г., Мелекесцев И.В. и др.** Проблема активизации вулкана Эльбрус (Северный Кавказ) и возможные ее последствия // Глобальные изменения природной среды / Мин. науки и технологий РФ, РАН. Новосибирск: СО РАН НИЦ ОИГГМ. 1998. С. 153–164.
2. **Богатилов О.А., Гурбанов А.Г., Мелекесцев И.В. и др.** Катастрофическая плейстоценовая и голоценовая палеоактивность Эльбрусского вулканического центра: события и их хронология по данным  $^{14}\text{C}$ , ЭПР и К-Аг датирования // Геодинамика, сейсмотектоника и вулканизм Северного Кавказа. Мин. промышленности, науки и технологий РФ, РАН, Минобразования России. – Москва: Региональная обществ.орг. ученых по проблемам прикл. геофизики. 2011. С. 295–319.
3. **Богатилов О.А., Гурбанов А.Г.** Комплексные исследования Эльбрусского и Казбекского вулканических центров: мониторинг и прогноз // Вестн. Владикавказского науч. центра. 2003. Т. 3. № 2. С. 15–28.
4. **Богатилов О.А., Мелекесцев И.В., Гурбанов А.Г. и др.** Катастрофические палеолахары вулкана Эльбрус (Северный Кавказ) // Докл. РАН. 1998. Т. 362, № 4. С. 518–521.
5. **Богатилов О.А., Мелекесцев И.В., Гурбанов А.Г. и др.** Катастрофическая плейстоценовая и голоценовая активность вулканического центра Эльбрус (Северный Кавказ, Россия): события и хронология по данным  $^{14}\text{C}$ , ЭПР и К-Аг датирования // Вулканология и сейсмология. 20012. № 2. С. 3–17.
6. **Бубнов С.Н., Гольцман Ю.В., Покровский Б.Г.** Изотопные системы Sr, Nd и O как индикаторы происхождения и эволюции новейших лав Эльбрусской вулканической области Большого Кавказа // XIV симп. по геохимии изотопов, 19-21 окт. 1995 г. – М.: ГЕОХИ. 1995. С. 28–29.
7. **Бубнов С.Н., Лебедев В.А., Гольцман Ю.В.** Место основного магматизма в геологической истории развития Эльбрусской неовулканической области (Б. Кавказ): К-Аг геохронологические и Sr-Nd изотопно-геохимические данные // XVII симпозиум по геохимии изотопов им. Акад. А.П. Виноградова, 6-9 декабря 2004. Тезис. докл. – М., 2004. С. 39–40.
8. **Гурбанов А.Г. Газеев В.М., Докучаев А.Я. Бубнов С.Н.** Позднемиоценовый-голоценовый магматизм и геодинамика Большого Кавказа. В. Кн. Типы маем и их источники в истории земли. Ч.1. Магматизм и геодинамика-главные факторы эволюции Земли. – М.: ИГЕМ РАН. 2006. С. 269–319.
9. **Короновский Н.В., Рудаков Л.М.** О возрасте последних извержений Эльбруса // Изв. высш. учебн. завед. Сер. геология и разведка. 1962. № 8. С. 133–135.
10. **Короновский Н.В.** Геологическое строение и история развития вулкана Эльбрус // Оледенение Эльбруса. – М.: МГУ. 1968. С. 15–74.
11. **Лебедев В.А., Бубнов С.Н., Чернышев И.В., Гольцман Ю.В.** Основной магматизм в геологической истории Эльбрусской неовулканической области (Большой Кавказ): К-Аг и Sr-Nd изотопные данные // Докл. РАН. 2006. Т. 406, № 1. С. 78–82.
12. **Масуренков Ю.П.** Кайнозойский вулканизм Эльбрусской вулканической области. М.: Тр. ИГЕМ. – М.: АН СССР. 1961. 132 с.
13. **Милановский Е.Е., Короновский Н.В.** Новые данные о древнейших этапах развития вулкана Эльбрус // Докл. АН СССР. 1961. Т. 141, № 2. С. 433–436.
14. **Муратов М.В., Гзовский М.В.** Основные этапы развития Эльбруса как вулкана // Тр. МГРИ. М. 1948. Т. 23. С. 75–82.
15. **Новейший и современный вулканизм на территории России.** (Отв. ред. Н.П. Лаверов. Авторский коллектив: Н.П. Лаверов, Н.Л. Добрецов, О.А. Богатилов, в.Г. Бондур, А.Г. Гурбанов, В.И. Коваленко и др.) – М.: Наука, 2005. 604 с.
16. **Паффенгольц К.Н.** Эльбрус // Изв. АН СССР: Сер. геол. 1959. № 2. С. 3–23.
17. **Природные процессы на территории Кабардино-Балкарии** (Под ред. Н.П. Лаверова. Авторский коллектив: Богатилов О.А. Залиханов М.Ч., Карамурзов Б.С., Гурбанов А.Г., Коваленко В.И., Газеев В.М., Руденко О.В., Собисевич А.Л. и др.). – Москва-Нальчик: РАН и Мин. образов. и науки РФ. 2004. 438 с.
18. **Станкевич Е.К.** Новейший магматизм Большого Кавказа. – Л.: Недра. 1976. 232 с.
19. **Толстых Наумов В.Б., Гурбанов А.Г. и др.** Состав магматических расплавов вулкана Эльбрус и Казбек (Кавказ) по данным изучения включений в минералах // Геохимия. 2001. № 4. С. 441–448.
20. **Чернышев И.В., Лебедев В.А., Бубнов С.Н. и др.** Этапы магматической активности Эльбрусского вулканического центра (Большой Кавказ): изотопно-геохронологические данные // Докл. РАН. Т. 380, № 3. 2001. С. 384–389.
21. **Чернышев И.В., Лебедев В.А., Бубнов С.Н. и др.** Возраст и периодичность новейших извержений важнейших вулканических центров Большого Кавказа: К-Аг и Rb-Sr изотопные данные // В Катастрофические процессы и их влияние на природную среду. Т. 1 Вулканизм. – М.: Региональная общественная организация ученых по проблемам прикладной геофизики. 2002. С. 266–291.
22. **Чернышев И.В., Бубнов С.Н., Гольцман Ю.В. и др.** Sr-Nd изотопная систематика новейших лав вулкана Эльбрус (Большой Кавказ): петрогенетические аспекты. Тез. докл. II Всерос. петрограф. совещ. – Сыктывкар, 2000. Т. 1. С. 227–229.
23. **Ikeya M.** New application of electron spin resonance. Dating, Dosimetry and Microscopy // Word Scientific.- Singapore, New Jersey, London, Hong Kong, Bangalore. 1993. 500p.

## REFERENCES

1. Bogatkov O.A., Gurbanov A.G., Melekestsev I.V. i dr. Problema aktivizatsii vulkana El'brus (Severnyy Kavkaz) i vozmozhnye ee posledstviya // Global'nye izmeneniya prirodnoy sredy / Min. nauki i tekhnologiy RF, RAN. Novosibirsk: SO RAN NITs OIGGM. 1998. S. 153–164.
2. Bogatkov O.A., Gurbanov A.G., Melekestsev I.V. i dr. Katastroficheskaya pleystotsenovaya i golotsenovayapaleoaktivnost' El'brusskogo vulkanicheskogo tsentra: sobytiya i ikh khronologiya po dannym 14S, EPR i K-Ar datirovaniya // Geodinamika, seymotektonika i vulkanizm Severnogo Kavkaza. Min. promyshlennosti, nauki i tekhnologiy RF, RAN, Minobrazovaniya Rossii. – Moskva: Regional'naya obshchestv.org. uchenykh po problemam prikl. geofiziki. 2011. S. 295–319.
3. Bogatkov O.A., Gurbanov A.G. Kompleksnye issledovaniya El'brusskogo i Kazbekskogo vulkanicheskikh tsevtrov: monitoring i prognoz // Vestn. Vladikavkazskogo nauchn. tsentra. 2003. T. 3. № 2. S. 15–28.
4. Bogatkov O.A., Melekestsev I.V., Gurbanov A.G. i dr. Katastroficheskie paleolakhary vulkana El'brus (Severnyy Kavkaz // Dokl. RAN. 1998. T. 362, № 4. S. 518–521.
5. Bogatkov O.A., Melekestsev I.V., Gurbanov A.G. i dr. Katastroficheskaya pleystotsenovaya i golotsenovaya aktivnost' vulkanicheskogo tsentra El'brus (Severnyy Kavkaz, Rossiya): sobytiya i khronologiya po dannym 14S, EPR i K-Ar datirovaniya // Vulkanologiya i seymologiya. 20012. № 2. S. 3–17.
6. Bubnov S.N., Gol'tsman Yu.V., Pokrovskiy B.G. Izotopnye sistemy Sr, Nd i O kak indikator proiskhozhdeniya i evolyutsii noveyshikh lav El'brusskoy vulkanicheskoy oblasti Bol'shogo Kavkaza // XIV simp. po geokhimii izotopov, 19-21 okt. 1995 g. – M.: GEOKhI. 1995. S. 28–29.
7. Bubnov S.N., Lebedev V.A., Gol'tsman Yu.V. Mesto osnovnogo magmatizma v geologicheskoy istorii razvitiya El'brusskoyneovulkanicheskoy oblasti (B. Kavkaz): K-Ar geokhronologicheskie i Sr-Nd izotopno-geokhicheskie dannye // XVII simpozium po geokhimii izotopov im. Akad. A.P. Vinogradova, 6-9 dekabrya 2004. Tezis.dokl. – M., 2004. S. 39–40.
8. Gurbanov A.G. Gazeev V.M., Dokuchaev A.Ya. Bubnov S.N. Pozdnemiotsevtovyy-golotsenovyy magmatizm i geodinamika Bol'shogo Kavkaza. V. Kn. Tipy magm i ikh istochniki v istorii zemli. Ch.1. Magmatizm i geodinamika-glavnye faktory evolyutsii Zemli. – M.: IGEM RAN. 2006. S. 269–319.
9. Koronovskiy N.V., Rudakov L.M. O vozraste poslednikh izverzheniy El'brusa // Izv. vyssh. uchebn. zaved. Ser. geologiya i razvedka. 1962. № 8. S. 133–135.
10. Koronovskiy N.V. Geologicheskoe stroenie i istoriya razvitiya vulkana El'brus // Oledenie El'brusa. – M.: MGU. 1968. S. 15–74.
11. Lebedev V.A., Bubnov S.N., Chernyshov I.V., Gol'tsman Yu.V. Osnovnyy magmatizm v geologicheskoy istorii El'brusskoyneovulkanicheskoy oblasti (Bol'shoy Kavkaz): K-Ar i Sr-Nd izotopnye dannye // Dokl. RAN. 2006. T. 406, № 1. S. 78–82.
12. Masurenkov Yu.P. Kaynozoykiy vulkanizm El'brusskoy vulkanicheskoy oblasti. M.: Tr. IGEM. – M.: AN SSSR. 1961. 132 s.
13. Milanovskiy E.E., Koronovskiy N.V. Novye dannye o drevneyshikh etapakh razvitiya vulkana El'brus // Dokl. AN SSSR. 1961. T. 141, № 2. S. 433–436.
14. Muratov M.V., Gzovskiy M.V. Osnovnye etapy razvitiya El'brusa kak vulkana // Tr. MGRI. M. 1948. T. 23. S. 75–82.
15. Noveyshiy i sovremennyy vulkanizm na territorii Rossii. (Otv. red. N.P. Laverov. Avtorskiy kolektiv: N.P. Laverov, N.L. Dobretsov, O.A. Bogatkov, v.G. Bondur, A.G. Gurbanov, V.I. Kovalenko i dr.) – M.: Nauka, 2005. 604 s.
16. Paffengol'ts K.N. El'brus // Izv. AN SSSR: Ser.geol. 1959. № 2. S. 3–23.
17. Prirodnye protsessy na territorii Kabardino-Balkarii (Pod red. N.P. Laverova. Avtorskiy kolektiv: Bogatkov O.A. Zalikhanov M.Ch., Karamurзов B.S., Gurbanov A.G., Kovalenko V.I., Gazeev V.M., Rudenko O.V., Sobisevich A.L. i dr.). – Moskva-Nal'chik: RAN i Min. obrazov. i nauki RF. 2004. 438 s.
18. Stankevich E.K. Noveyshiy magmatizm Bol'shogo Kavkaza. – L.: Nedra. 1976. 232 s.
19. Tolstykh Naumov V.B., Gurbanov A.G. i dr. Sostav magmaticheskikh rasplavov vulkana El'brus i Kazbek (Kavkaz) po dannym izucheniya vklyucheniya v mineralakh // Geokhimiya. 2001. № 4. S. 441–448.
20. Chernyshev I.V., Lebedev V.A., Bubnov S.N. i dr. Etapy magmaticheskoy aktivnosti El'brusskogo vulkanicheskogo tsentra (Bol'shoy Kavkaz): izotopno-geokhronologicheskie dannye // Dokl. RAN. T. 380, № 3. 2001. S. 384–389.
21. Chernyshev I.V., Lebedev V.A., Bubnov S.N. i dr. Vozrast i periodichnost' noveyshikh izverzheniy vazhneyshikh vulkanicheskikh tsevtrov Bol'shogo Kavkaza: K-Ar i Rb-Sr izotopnye dannye. V Katastroficheskie protsessy i ikh vliyaniya na prirodnyuyu sredu. T.1 Vulkanizm. – M.: Regional'naya obshchestvennaya organizatsiya uchenykh po problemam prikladnoy geofiziki. 2002. S. 266–291.
22. Chernyshev I.V., Bubnov S.N., Gol'tsman Yu.V. i dr. Sr-Nd izotopnaya sistematika noveyshikh lav vulkana El'brus (Bol'shoy Kavkaz): petrogeneticheskie aspekty. Tez.dokl. IIVseros. petrograf. soveshch. Syktyvkar, 2000. T. 1. S. 227–229.
23. Ikeya M. New application of electron spin resonance. Dating, Dosimetry and Microscopy // Word Scientific.- Singapore, New Jersey, London, Hong Kong, Bangalore. 1993. 500p.