

Первые данные о составе амфиболовых андезибазальтов нового экструзивного купола им. 300-летия РАН на западном склоне вулканического массива Шивелуч (Камчатка)

Горбач Н.В.¹, Портнягин М.В.², Овсянников Г.Н.^{1,3}, Нуждаев И.А.¹, Философова Т.М.¹, Плечова А.А.⁴

First data on the composition of amphibole basaltic andesite of the new extrusive dome named after the 300th anniversary of the RAS on the western flank of Shiveluch volcanic massif (Kamchatka)

Gorbach N.V., Portnyagin M.V., Ovsyannikov G.N., Nuzhdaev I.A., Filosofova T.M., Plechova A.A.

¹ *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский; e-mail: n_gorbach@mail.ru*

² *GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research, Kiel, Germany*

³ *Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва*

⁴ *Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, г. Москва*

В сообщении приведено краткое описание химического состава и петрографии первых порций экструзивных лав и пирокластического материала, изверженных в апреле – начале мая и в августе 2024 г. в пределах нового эруптивного центра им. 300-летия РАН на западном склоне вулканического массива Шивелуч.

В апреле 2024 г. на западном склоне вулканического массива Шивелуч появился новый лавовый купол, названный в честь 300-летия РАН [2]. Он расположен в 5.5 км к юго-западу от активного кратера Молодого Шивелуча, в центре группы древних экструзивных куполов Каран (рис. 1а, б). На протяжении года, предшествующего образованию купола, в западном секторе вулканического массива фиксировалась интенсивная сейсмичность, появление новых центров фумарольной активности и деформации рельефа земной поверхности [12]. Первые образцы экструзивных лав (рис. 1в) были отобраны через две недели после начала роста купола. Отбор образцов пирокластического материала (рис. 1г) удалось выполнить вскоре после завершения эксплозивного извержения в августе 2024 г. В сообщении кратко охарактеризован химический состав изверженных продуктов нового эруптивного центра, особенности их петрографии и минерального состава и показаны ключевые отличия от большинства пород Молодого Шивелуча.

В работе использовано восемь образцов экструзивных лав и фрагментов вулканических бомб (рис. 1в, г). Содержания главных элементов в породах определены рентгенофлуоресцентным методом в Институте геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск. Состав минералов и вулканических стекол получен при помощи электронного зонда JEOL JXA 8200 в Центре исследования океана им. Гельмгольца GEOMAR (г. Киль), а также при помощи сканирующего электронного микроскопа Vega 3 Tescan, оборудованного энергодисперсионным спектрометром Oxford X-max 80mm², в Институте вулканологии и сейсмологии ДВО РАН.

Петрография пород. Первые порции экструзивных лав, образцы которых были отобраны в начале мая 2024 г., – породы серого цвета, которые содержат около 20-25 об. % вкрапленников амфибола, погруженных в микрокристаллическую основную массу (рис. 2а). Кроме амфибола, в породе присутствуют единичные фенокристаллы пироксенов и ксенокристаллы оливина, окруженные реакционной ортопироксен-амфиболовой каймой (рис. 2а, вставки). Плаггиоклаз отсутствует в числе вкрапленников, изредка встречаются единичные микролиты этого минерала. Отдельные образцы имеют неоднородную текстуру и включают участки или обособленные фрагменты-ксенолиты светло-серого амфибол-плаггиоклазового андезита (рис. 2б) размером до 4 см. В таких ксенолитах амфибол полностью опацифицирован, что свидетельствует о термальном воздействии более горячей андезибазальтовой магмы.

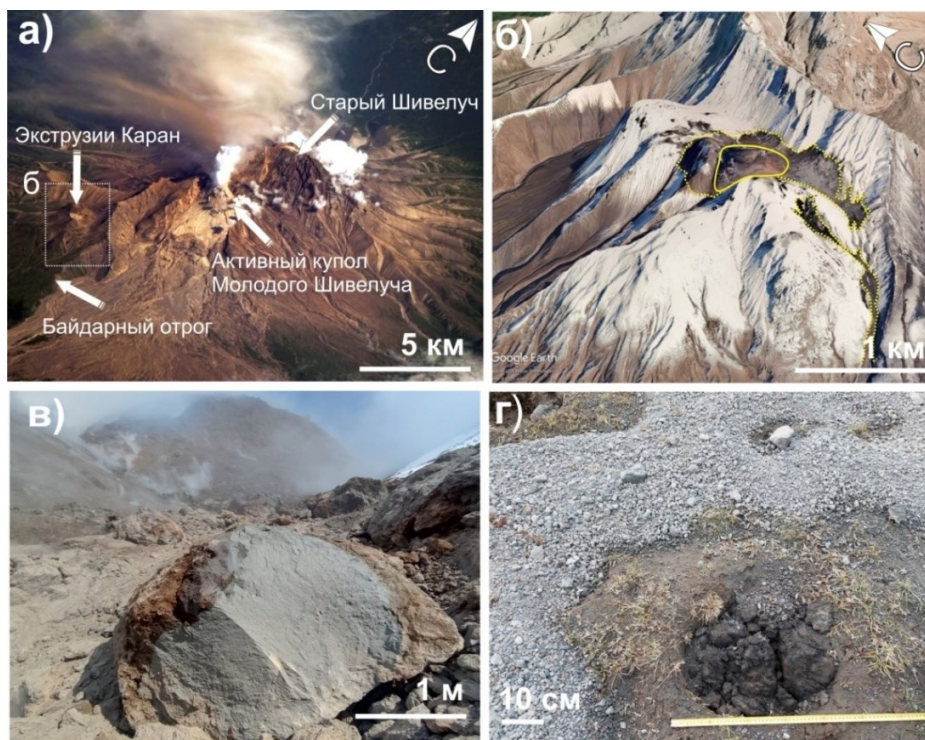


Рис. 1. Позиция нового эруптивного центра в структуре вулканического массива Шивелуч и облик его изверженных продуктов: а) группа экструзий Каран до появления нового купола; б) границы новой экструзии на 26 сентября 2024 г. выделены сплошным желтым контуром, пирокластические отложения – пунктиром; в) глыба экструзивной лавы на подножии новообразованного купола в мае 2024 г.; г) пирокластический материал, изверженный в августе 2024 г., в 2 км к югу от эруптивного центра.

Пирокластические продукты, изверженные в августе 2024 г., подразделяются на два типа (рис. 1г). К первому типу принадлежат вулканические бомбы и лапилли серых плотных пород, идентичных экструзивным порциям начального периода формирования. Второй тип – темно-серые до черных пористые (поры около 20 об. %) вулканические бомбы, которые были извержены непосредственно во время эксплозивного эпизода 17-18 августа 2024 г. Как и плотные экструзивные лавы, черные пористые разности богаты вкрапленниками амфибола (около 30 об. %) и содержат единичные зерна ксеногенного оливина с реакционной каймой, а также немногочисленные фенокристаллы и сростки пироксенов (рис. 2в).

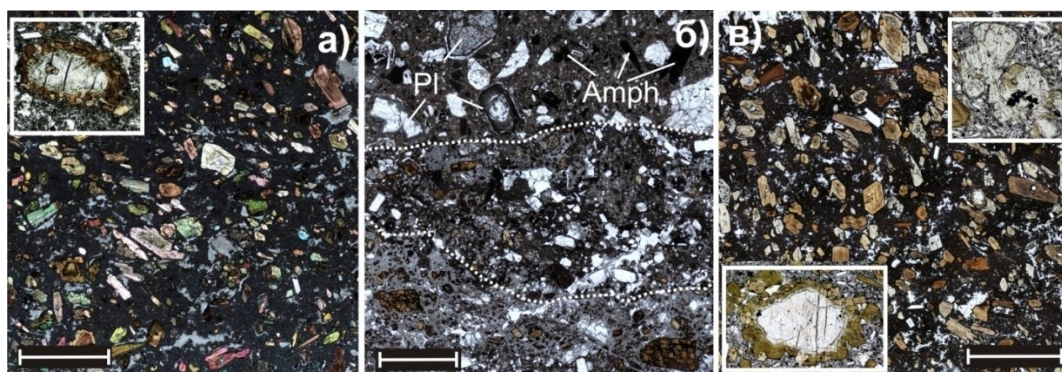


Рис. 2. Петрографический облик пород нового эруптивного центра: а) образец первых экструзивных порций, май 2024 г., на вставке показан оливин, окруженный реакционной каймой; б) фрагмент ксенолита амфибол-плагиоклазового андезита в амфиболовом андезибазальте, белой пунктирной линией выделена зона контакта между породами, где часть минералов раздроблена; в) образец черной пористой бомбы, извержение 17-18 августа 2024 г., на верхней вставке показан сросток пироксенов, на нижней – оливин, окруженный каймой зерен амфибола. Масштабная линейка соответствует 2 мм; поле зрения вставок ~0.6-0.7 мм.

Химический состав лав и пирокластических продуктов. Продукты начальных этапов формирования нового экструзивного купола представлены умеренно-К известково-щелочными андезибазальтами (рис. 3). Содержание SiO_2 в первых порциях экструзивных лав и в черных пористых вулканических бомбах варьирует в узких пределах – от 55.7 до 56.3 мас. % (в пересчете на 100 %) при магнезиальности $\text{Mg\#} = 100 \times \text{Mg}/(\text{Mg} + \text{Fe}^{\text{общ}})$ 61-64 мол. %. В плотных лапилли и вулканических бомбах, изверженных в августе, содержание SiO_2 составляет 57.2-57.6 мас. %.

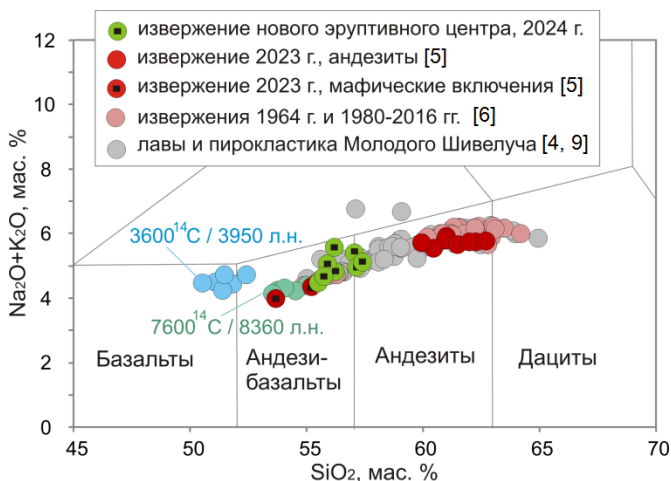


Рис. 3. Химический состав пород нового эруптивного центра на фрагменте TAS-диаграммы [8]. Радиоуглеродный и калиброванный от 1950 г. возраст наиболее примитивных пород Молодого Шивелуча показан согласно [1, 9].

Состав породообразующих минералов. Амфибол андезибазальтов представлен паргаситом-магнезиогастингситом ($\text{Al}_2\text{O}_3 = 10-15$ мас. %; $\text{Mg\#} = 61-76$ мол. %); клинопироксен – авгит, $\text{Mg\#} = 78-87$ мол. %; ортопироксен, образующий реакционные каймы вокруг оливина и отдельные вкрапленники – энстатит-бронзит, $\text{Mg\#} = 80-90$ мол. %, оливин ($\text{Fo} = 88-90$ мол. %). Микролиты и единичные субфенокристаллы плагиоклаза отвечают андезину ($\text{An} = 39-53$ мол. %); интерстициальные стекла представлены высоко-К риолитом $\text{SiO}_2 = 74.8-78.1$ мас. %; $\text{K}_2\text{O} = 4.3-4.7$ мас. %. Предварительные расчеты условий кристаллизации при помощи термобарометрических уравнений [10], показали, что ядра крупных (>1 мм) вкрапленников амфибола кристаллизовались при температуре 912-948 °С, давлении 410-632 МПа (~16-24 км) и содержании воды в магме 7.4-8.7 мас. %.

Отличия вещественного состава андезибазальтов от других пород голоценовых извержений вулкана Шивелуч. Отсутствие плагиоклаза в числе вкрапленников или же появление его в виде микролитов и редких субвкрапленников – основное отличие андезибазальтов нового эруптивного центра от большинства пород голоценовых извержений вулкана. Плагиоклаз преобладает в числе фенокристаллов в большинстве пород Молодого Шивелуча, и только в андезитах древних экструзий группы Каран [3, 4], а также в наиболее примитивных породах – базальтах-андезибазальтах с возрастом 7600 ^{14}C и 3600 ^{14}C л.н. [1], он отсутствует или проявлен в минимальном количестве. Высоко-Al состав амфибола, отвечающий исключительно паргаситу-магнезиогастингситу, является вторым существенным отличием андезибазальтов – большинство амфиболов в породах Молодого Шивелуча представлено магнезиальной роговой обманкой, а паргаситы и магнезиогастингситы можно обнаружить только в мафических включениях или же в ядрах отдельных кристаллов [5, 6]. Наличие высоко-Mg оливина, окруженного реакционной каймой зерен амфибола – еще одна характерная черта, которая типична как для андезибазальтов нового эруптивного центра, так и для пород экструзий группы Каран [4]. Перечисленные особенности являются отличительными признаками магм с высоким содержанием воды (например, [7]), кристаллизующихся в нижних горизонтах земной коры. Полученные нами предварительные P-T-H₂O оценки и данные о

распределении сейсмичности под вулканом в период, предшествующий появлению нового купола на поверхности [12], согласуются с такой интерпретацией.

Таким образом, формирование нового эруптивного центра на западном склоне вулканического массива Шивелуч связано с подъемом на поверхность водонасыщенных магм из горизонтов нижней коры. При подъеме нижнекоровые магмы взаимодействовали с андезитовыми магмами, о чем свидетельствуют ксенолиты амфибол-плагиоклазового андезита (см. рис. 2б) в первых порциях экструзивных лав.

Ранее нами было показано, что магмы, питающие древние экструзии Каран, могли накапливаться на нижнекоровых глубинах (например, рис. 16 из работы [3]). К такому же заключению пришли и авторы работы [11] на основе экспериментов с породами г. Красная – экструзии, примыкающей с юга к новому эруптивному центру. Извержение амфиболовых андезибазальтов, кристаллизация минеральной ассоциации которых происходила, согласно рассчитанным нами данным, на глубинах 24-16 км, не только подтверждает высказанные ранее гипотезы, но и указывает на особые и стабильные условия накопления и эволюции магм в этом секторе вулканического массива на протяжении нескольких тысяч лет.

Работа выполнена в рамках темы НИР ИВиС ДВО РАН № FWME-2024-0012.

Список литературы

1. *Волынец О.Н., Пономарева В.В., Бабанский А.Д.* Магнезиальные базальты андезитового вулкана Шивелуч // *Петрология*. 1997. Т. 5. № 2. С. 206-211.
2. *Гирина О.А., Маневич А.Г., Луян Е.А. и др.* Рождение нового экструзивного купола вулкана Шивелуч (Камчатка) в 2024 году по данным непрерывного спутникового мониторинга в информационной системе VolSatView // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2024. Т. 21. № 3. С. 348-355.
3. *Горбач Н.В.* Происхождение и эволюция магм вулканического массива Шивелуч (Камчатка) по геологическим и петролого-геохимическим данным. Автореф. дис. на соиск. уч. ст. канд. геол.-мин. наук. Владивосток, 2013. 29 с.
4. *Горбач Н.В., Портнягин М.В.* Геологическое строение и петрология лавового комплекса вулкана Молодой Шивелуч, Камчатка. // *Петрология*. 2011. Т. 19. № 2. С. 140-172.
5. *Горбач Н.В., Философова Т.М.* Состав ювенильных андезитов и ассоциирующих с ними мафических включений, изверженных вулканом Шивелуч в апреле 2023 г. // *Материалы XXVII Всероссийской научной конференции, посвященной Дню вулканолога, 28-29 марта 2024 г.* Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2024. С. 60-63.
6. *Gorbach N.V., Filosofova T.M., Portnyagin M.V.* amphibole record of 1964 plinian and following dome-forming eruptions of Shiveluch volcano, Kamchatka // *Journal of volcanology and geothermal research*. 2020. v. 407. art. 107108.
7. *Grove T.L., Elkins-Tanton L.T., Parman S.W. et al.* Fractional crystallization and mantle-melting controls on calc-alkaline differentiation trends // *Contributions to mineralogy and petrology*. 2003. V. 145. № 5. P. 515-533.
8. *Le Bas M.J., Le Maitre R.W., Streckeisen A., Zanettin B.* A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram // *Journal of petrology*. 1986. V 27. P. 745-750.
9. *Ponomareva V., Portnyagin M., Pevzner M. et al.* Tephra from andesitic Shiveluch volcano, Kamchatka, NW Pacific: Chronology of explosive eruptions and geochemical fingerprinting of volcanic glass // *International journal of Earth sciences*. 2015. V. 104. P. 1459-1482. <https://doi.org/10.1007/s00531-015-1156-4>
10. *Ridolfi F.* Amp-TB2: An updated model for calcic amphibole thermobarometry // *Minerals*. 2021. V. 11. Art. 324. <https://doi.org/10.3390/min11030324>
11. *Simakin A.G., Devyatova V.N., Salova T.P. et al.* Experimental study of amphibole crystallization from the highly magnesian melt of Shiveluch volcano, Kamchatka // *Petrology*. 2019. V. 27. P. 442-459. <https://doi.org/10.1134/S0869591119050072>
12. *Volkova M.S., Mikhailov V.O., Gorbach N.V.* The nature of deformations of the western slope of Shiveluch volcano after the eruption on April 11, 2023, Identified by SAR Interferometry // *Doklady Earth sciences*. 2024. V. 518. № 2. P. 1723-1731.