

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.124.66>**ИМПУЛЬСНЫЙ ХАРАКТЕР ПОЗДНЕПЛЕЙСТОЦЕНОВОГО БАЗИТОВОГО ВУЛКАНИЗМА ПЕРЕШЕЙКА ВЕТРОВОЙ (О. ИТУРУП, КУРИЛЬСКИЕ ОСТРОВА)**

Научная статья

Тимина Т.Ю.¹, Смирнов С.З.², Рыбин А.В.³, Низаметдинов И.Р.⁴*⁴ORCID : 0000-0002-9213-0958;^{1, 2, 4}Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева, Новосибирск, Российская Федерация³Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, Южно-Сахалинск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (inizametdinov[at]igm.nsc.ru)

Аннотация

В работе приводятся результаты определения химического состава вкрапленников оливина из андезибазальтов посткальдерного вулкана Клуба (Курильские о-ва). Измерение содержания главных и примесных компонентов в оливине проводилось на рентгеноспектральном микроанализаторе методом ВДС. Выявлено два типа вкрапленников оливина. Оливин I типа представлен идиоморфными кристаллами, обладающими ярко выраженной прямой и обратной химической зональностью, но при этом не имеющие признаков реакционного взаимодействия с расплавом. Состав вкрапленников оливина I варьирует от ядерных к краевым зонам в пределах Fo₈₅₋₇₂. Содержания (в мас. %) NiO – 0,16-0,03, Cr₂O₃ от 0,04 мас. % до практически пороговых значений, MnO – 0,2-0,5 и CaO – 0,14-0,17. Оливин II типа имеют признаки реакционного взаимодействия с расплавом: периферия вкрапленников сложена ортопироксеном, который отделен от оливина симплектитовой ортопироксен-магнетитовой каймой. Состав оливинов II изменяется в пределах Fo₇₂₋₆₆, при этом различие между ядерной и краевой частями составляет всего одну-две форстеритовых единицы. Содержания (в мас. %) Cr₂O₃ < 0,003, NiO – 0,02-0,05, MnO – 0,4-0,63 и CaO – 0,12-0,16. Составы оливинов I и II типа образуют единый тренд, обусловленный эволюцией единой по химизму исходной магмы. Подводящая система вулкана Клуба состояла из различных камер, различавшихся по степени дифференцированности заполняющих их магм. Различия в составах и зональности оливина свидетельствуют об импульсном характере функционирования всей подводящей магматической системы вулкана Клуба.

Ключевые слова: оливин, андезибазальты, магма, вулкан Клуба, Курильские острова.**THE IMPULSIVE NATURE OF THE LATE PLEISTOCENE BASITIC VOLCANISM OF THE VETROVOY BRIDGE (ITURUP ISLAND, KURIL ISLANDS)**

Research article

Timina T.Y.¹, Smirnov S.Z.², Rybin A.V.³, Nizametdinov I.R.⁴*⁴ORCID : 0000-0002-9213-0958;^{1, 2, 4}V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Novosibirsk, Russian Federation³Institute of Marine Geology and Geophysics FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russian Federation

* Corresponding author (inizametdinov[at]igm.nsc.ru)

Abstract

The work presents the results of establishing the chemical composition of olivine phenocrysts from andesibasalts of the postcaldera volcano Klumba (Kuril Islands). The content of the main and impurity components in olivine was measured on an X-ray microanalyzer using the VDS method. Two types of olivine phenocrysts were detected. Type I olivine is represented by idiomorphic crystals with distinct forward and reverse chemical zoning, but with no signs of reaction interaction with the melt. The composition of the phenocrysts of olivine I varies from nuclear to marginal zones within Fo₈₅₋₇₂. Contents (in wt %) NiO - 0.16-0.03, Cr₂O₃ from 0.04 wt % to almost threshold values, MnO - 0.2-0.5 and CaO - 0.14-0.17. Type II olivine shows signs of reaction interaction with the melt: the periphery of the phenocrysts is composed of orthopyroxene, which is separated from the olivine by a symplectitic orthopyroxene magnetite rim. The composition of the olivine II varies within Fo₇₂₋₆₆, with only one or two forsterite units between the nuclear and marginal parts. The contents (in wt %) of Cr₂O₃ < 0.003, NiO 0.02-0.05, MnO 0.4-0.63, and CaO 0.12-0.16. The compositions of type I and type II olivines form a unified trend due to the evolution of a chemically unified initial magma. The supply system of Klumba volcano consisted of different chambers that varied in the degree of differentiation of the magmas that filled them. The differences in the compositions and olivine zoning indicate the pulse character of the entire Klumba volcano feeder magma system.

Keywords: olivine, andesibasalts, magma, Klumba volcano, Kuril Islands.**Введение**

Вулкан Клуба представляет собой посткальдерный стратовулкан позднеплейстоценового возраста, наложенный на пемзовые отложения крупного эксплозивного извержения Перешейка Ветровой (о. Итуруп, Курильские острова) произошедшего 20 тыс. л.н. [1], [9]. Грабен перешейка Ветрового практически полностью заполнен пемзовыми отложениями роковского дацитового комплекса, отнесенного к позднему плейстоцену. Отложения этой толщи перекрываются мелководными отложениями второй морской террасы верхнего плейстоцена. Наиболее поздними осадочными образованиями перешейка являются делювиально-пролювиальные отложения склонов и прибрежно-морские отложения первой морской террасы голоценового возраста [2].

Точные соотношения пемзовой толщи и более поздних осадочных отложений с вулканом Клумба установить невозможно из-за плохой обнаженности его подножья. На государственной геологической карте [2] этот вулкан отнесен к богатырскому комплексу позднего плейстоцена.

Объем материала изверженного на перешейке Ветровом 20 тыс. л.н. по оценкам [3] составляет около 100 км³. Для извержения такого масштаба необходимы большие объемы базитовых магм, служащие или источником вещества, или источником тепловой энергии [7], [8], [5]. В районе Перешейка Ветровой только вулкан Клумба имеет основной состав и возраст близкий к возрасту извержения. В данной работе на основании анализа состава и зональности вкрапленников оливина проведена реконструкция характера функционирования подводящей системы этого посткальдерного вулкана.

Методы исследования

Исследования были выполнены в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН на базе Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН (Новосибирск, Россия).

Определение химического состава оливина проводилось на рентгеноспектральном микроанализаторе JEOL JXA-8230 методом ВДС на базе методики прецизионного анализа этого минерала изложенной в [10]. Параметры съемки: ток зонда 250 нА, ускоряющее напряжение – 20 кВ, время накопления сигнала элементов-примесей на пиках аналитических линий составляло 80 с для Mn, 120 с для Ca и Cr, 180 с для Al и 200 с для Ni. Фон измерялся с обеих сторон пика. Увеличение силы тока и времени накопления сигнала позволяют существенно снизить порог обнаружения примесных элементов. Предел обнаружения элементов (по критерию 3σ) составляет (мас. %): 0,0015 – Ca, 0,002 – Ni, 0,003 – Cr, 0,004 – Mn. В качестве образцов сравнения использовались оливин Сан-Карлос USNM-111312/444 и USNM фаялит 85276 (Fe, Mn).

Оливин из лав вулкана клумба

Валовый состав продуктов извержений вулкана Клумба соответствует андезибазальтам. Лавы содержат вкрапленники оливина, орто- и клинопироксена и плагиоклаза, погруженных в тонкораскристаллизованный матрикс.

Оливин в лавах представлен двумя типами. К первому типу (оливин I) относятся вкрапленники, имеющие идиоморфные очертания. Для вкрапленников этого типа характерно отсутствие признаков реакционного взаимодействия с расплавом. Кристаллы обладают ярко выраженной прямой и обратной химической зональностью (рис. 1, а-б).

Состав вкрапленников с прямой зональностью изменяется от Fo₈₅₋₇₅ в ядерных зонах и до Fo₈₂₋₇₃ к краевым частям. У вкрапленников с обратной зональностью ядра слагает оливин с Fo₇₂₋₇₃, а внешние зоны имеют состав до Fo₇₆₋₇₉. Границы между зонами размыты, что типично для магматических вкрапленников этого минерала. Оливин I содержит кристаллические включения Cr-Al-шпинели (Cr₂O₃ 20-32,8 мас. %), плагиоклаза (An₉₃₋₉₀), а также первичные расплавные и флюидные включения.

Во вкрапленниках оливина-I с понижением Fo снижаются содержания NiO от 0,16 до менее 0,05 мас. %, и Cr₂O₃ от 0,04 мас. % до практически пороговых значений, в то время как содержания MnO растут от 0,2 до 0,5 мас. %. Содержания CaO варьируют в относительно узких пределах 0,14 – 0,17 мас. %, но имеют тенденцию к снижению с уменьшением форстеритового минала.

Вкрапленники оливина второго типа (оливин II) в отличие от оливина I имеют признаки реакционного взаимодействия с расплавом. Оно выражается в том, что периферия вкрапленников оливина II сложена ортопироксеном, который отделен от оливина симплектитовой ортопироксен-магнетитовой каймой (рис. 1, в-г). Вкрапленники этого типа обладают относительно однородным составом: различие между ядерной и краевой частями составляет всего одну-две форстеритовых единицы. Состав оливина II изменяется в пределах Fo₇₂₋₆₆. В качестве кристаллических включений оливин II содержит магнетит с повышенным содержанием Cr₂O₃ (3,8-5,6 мас. %).

Область составов оливина-II является продолжением тренда изменения составов оливина I. На (рис. 2) видно, что области составов оливина I и оливина II частично перекрывают друг друга. Это означает, что составы оливина обоих типов образуют непрерывный тренд и могут быть описаны в рамках общих закономерностей их изменения. Следует отметить, что содержания Cr₂O₃ < 0,003 мас. %, содержания NiO постоянны, а содержания MnO и CaO увеличиваются по мере снижения Fo.

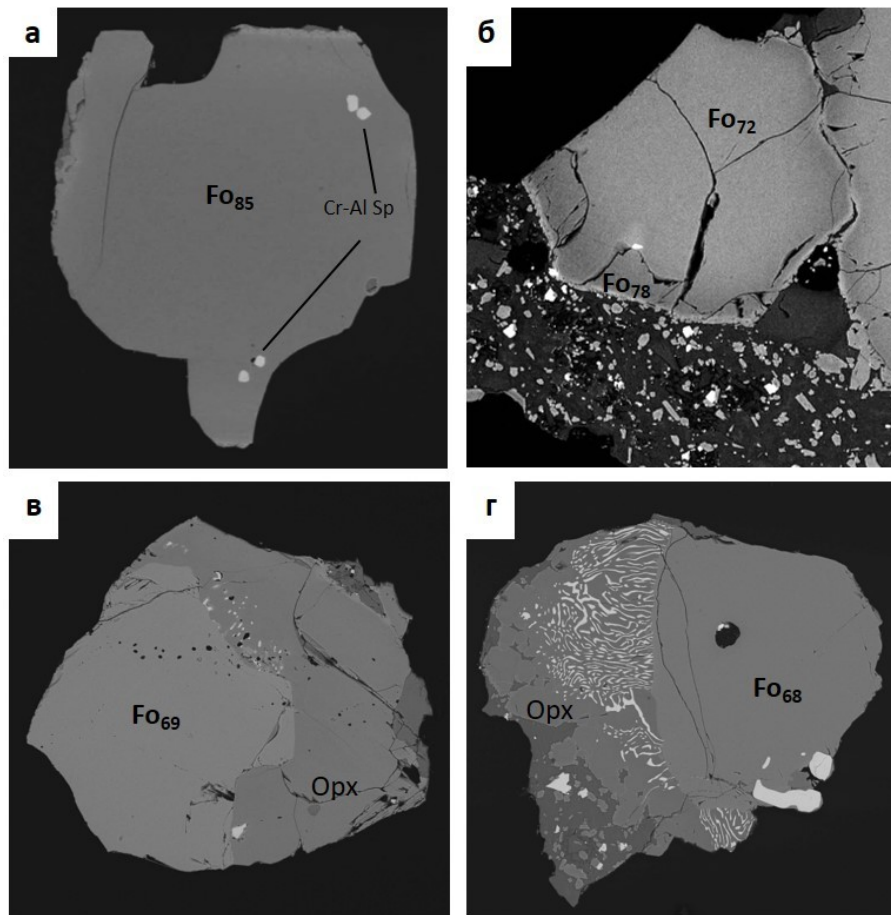


Рисунок 1 - Оливин из лав вулкана Клубба:
 а-б – вкрапленники оливина I, в-г – вкрапленники оливина II; Fo – форстеритовый минал, Cr-Al Sp – хром-алюмошпинель, Орх – ортопироксен
 DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.124.66.1>

Обсуждение

По содержанию примесей оливин обоих типов отвечает составам магматических оливинов [10], [4]. На вариационных диаграммах (рис. 2) составы оливинов образуют общий протяженный тренд. Это означает, что они, вероятнее всего относятся к дифференциатам одной и той же исходной базальтовой магмы и могут быть описаны исходя из общих закономерностей ее эволюции.

Различия в составах оливинов, образующих вкрапленники разного типа, предполагают, что они кристаллизовались в разных условиях, вероятно в различных промежуточных камерах. Таким образом, оливин, не имеющий признаков замещения и оливин с симплектитовыми каймами, следует относить к различным генерациям.

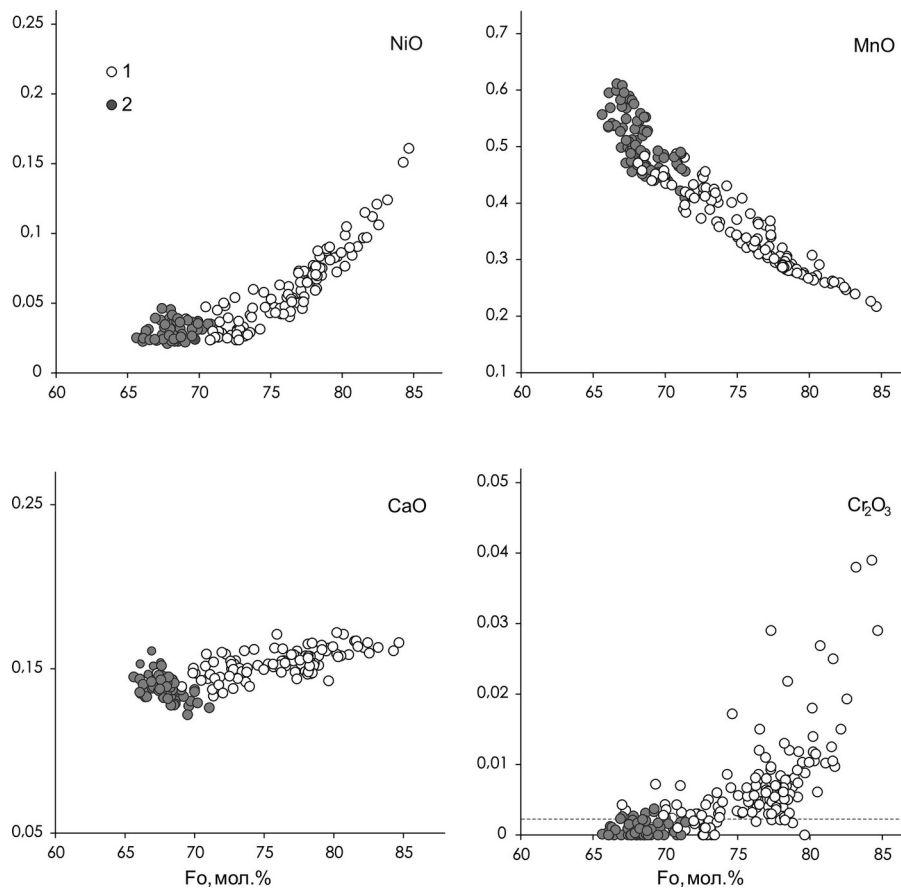


Рисунок 2 - Содержания NiO, MnO, CaO и Cr₂O₃ в оливинах из лав вулкана Клумба:
 1 – вкрапленники оливина I, 2 – вкрапленники оливина II; пунктирная линия – предел обнаружения Cr₂O₃
 DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.124.66.2>

Наиболее высокие содержания Fo во вкрапленниках, с которыми не ассоциируют симплектитовые каймы магнетит-ортопироксенового состава, говорят о том, что они образовались из менее дифференцированных основных расплавов. Оценки равновесных температур по включениям Cr-Al шпинелей в них [6] дают интервал температур 1140-1160°C, что может соответствовать начальному этапу кристаллизации в глубинном базитовом магматическом очаге под вулканом Клумба. Длительная дифференциация в одной камере или ассимиляция коровыми породами и более кислыми расплавами привела бы к образованию симплектитовых кайм. Их отсутствие позволяет утверждать, что материнская магма не претерпевала длительной кристаллизационной дифференциации в промежуточных малоглубинных камерах.

Различие в характере зональности оливина I свидетельствует в пользу того, что состав материнского расплава периодически менялся. В камеру, вероятно, поступали более примитивные магмы, что привело к развитию у некоторых кристаллов обратной зональности.

Особенностями вкрапленников второго типа, характеризующих наименее глубинные уровни эволюции магм, является железистый состав оливина и наличие симплектитовых магнетит-ортопироксеновых кайм. Возникновение кайм можно объяснить тем, что оливин, кристаллизовавшийся на ранних этапах эволюции, стал нестабильным и вступил в реакцию с расплавом. Это может произойти либо в результате обогащения расплава в ходе кристаллизационной дифференциации кремнеземом, либо благодаря контаминации магмы высококремнистыми вмещающими породами, либо в результате смешения с высококремнистыми магмами.

Заключение

Таким образом, проведенное исследование показало, что подводящая система вулкана Клумба состояла из различных камер, различавшихся по степени дифференцированности заполняющих их магм. Различия в составах и зональности оливина позволяют сделать вывод об импульсном характере функционирования всей подводящей магматической системы вулкана Клумба.

Финансирование

Исследование выполнено в рамках государственного задания ИГМ СО РАН и ИМГиГ ДВО РАН. Аналитические работы выполнены частично за счет гранта РФФИ 18-05-00819.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Funding

The study were carried out within the framework of the state assignment of the IGM SB RAS and IMGG FEB RAS. was partially supported by the RFBR, grant 18-05-00819.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Булгагов Р.Ф. История развития южных островов Большой Курильской дуги в плейстоцене дис. ...канд. null: 11.00.04 : защищена 1994-11-24 : утв. 1994-09-24 / Р.Ф. Булгагов – М.: 1994. – 20 с.
2. Ковтунович П.Ю. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000 / П.Ю. Ковтунович, А.Д. Сафронов, В.В. Удодов и др. – Спб. : ВСЕГЕИ, 2002. – 269 с.
3. Мелекесцев И.В. Катастрофические эксплозивные извержения вулканов Курило-Камчатской области в конце плейстоцена-начале голоцена / И.В. Мелекесцев, О.А. Брайцева, Л.Д. Сулержицкий // Доклады академии наук СССР. – 1988. – Т. 300. – № 1. – с. 175-181.
4. Плечов П.Ю. Экстремально магнезиальный оливин в магматических породах / П.Ю. Плечов, В.Д. Щербаков, Н.А. Некрылов // Геология и Геофизика. – 2018. – Т. 59. – № 12. – с. 2129-2147. – DOI: 10.15372/GiG20181212
5. Bachmann O. Gas percolation in upper-crustal silicic crystal mushes as a mechanism for upward heat advection and rejuvenation of near-solidus magma bodies. / O. Bachmann, G.W. Bergantz // Journal of Volcanology and Geothermal Research. – 2006. – Vol. 149. – № 1-2. – p. 85-102. – DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2005.06.002
6. Coogan L.A. Aluminum-in-olivine thermometry of primitive basalts: evidence of an anomalously hot mantle source for large igneous provinces. / L.A. Coogan, A.D. Saunders, R.N. Wilson // Chemical Geology. – 2014. – Vol. 368. – p. 1-10. – DOI: 10.1016/j.chemgeo.2014.01.004
7. Gertisser R. From basalt to dacite: origin and evolution of the calc-alkaline series of Salina, Aeolian Arc, Italy. / R. Gertisser, J. Keller // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 2000. – Vol. 139. – № 5. – p. 607-626.
8. Grove T.L. Fractional crystallization and mantle-melting controls on calc-alkaline differentiation trends. / T.L. Grove, L.T. Elkins-Tanton, S.W. Parman et al. // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 2003. – Vol. 145. – № 5. – p. 515-533. – DOI: 10.1007/s00410-003-0448-z
9. Smirnov S.Z. Parental Melts and Magma Storage of a Large-volume Dacite Eruption at Vetrovoy Isthmus (Iturup Island, Southern Kuril Islands): Insights into the Genesis of Subduction-zone Dacites. / S.Z. Smirnov, A.V. Rybin, N.N. Kruk et al. // Journal of Petrology. – 2019. – Vol. 60. – № 7. – p. 1349-1370. – DOI: 10.1093/petrology/egz032
10. Sobolev A.V. The amount of recycled crust in sources of mantle-derived melts. / A.V. Sobolev, A.W. Hofmann, D.V. Kuzmin et al. // Science. – 2007. – Vol. 316. – № 5823. – p. 412-417.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Bulkagov R.F. Istoriya razvitiya yuzhnyx ostrovov Bol'shoj Kuril'skoj dugi v plejstocene [History of the development of the southern islands of the Great Kuril arc in the Pleistocene] dis...of PhD in Natural sciences: 11.00.04 : defense of the thesis 1994-11-24 : approved 1994-09-24 / Р.Ф. Булгагов – М.: 1994. – 20 p. [in Russian]
2. Kovtunovich P.Ju. Gosudarstvennaja geologicheskaja karta Rossijskoj Federacii masshtaba 1:200 000 [State Geological Map of the Russian Federation scale 1:200 000] / P.Ju. Kovtunovich, A.D. Safronov, V.V. Udodov et al. – Spb. : VSEGEI, 2002. – 269 p. [in Russian]
3. Melekestsev I.V. Katastroficheskie eksplozivnie izverzheniya vulkanov Kurilo-Kamchatskoj oblasti v kontse pleistotsena-nachale golotsena [Catastrophic explosive eruptions of volcanoes in the Kuril-Kamchatka region at the end of the Pleistocene-beginning of the Holocene] / I.V. Melekestsev, O.A. Braitseva, L.D. Sulerzhitskii // Doklady akademii nauk SSSR [Transactions (Doklady) of the USSR Academy of Sciences. Earth Science Sections]. – 1988. – Vol. 300. – № 1. – p. 175-181. [in Russian]
4. Plechov P.Yu. Ekstremalno magnezialnii olivin v magmaticheskikh porodakh [Extremely Magnesian Olivine in Igneous Rocks] / P.Yu. Plechov, V.D. Shcherbakov, N.A. Nekrilov // Geologiya i Geofizika [Russian Geology and Geophysics]. – 2018. – Vol. 59. – № 12. – p. 2129-2147. – DOI: 10.15372/GiG20181212 [in Russian]
5. Bachmann O. Gas percolation in upper-crustal silicic crystal mushes as a mechanism for upward heat advection and rejuvenation of near-solidus magma bodies. / O. Bachmann, G.W. Bergantz // Journal of Volcanology and Geothermal Research. – 2006. – Vol. 149. – № 1-2. – p. 85-102. – DOI: 10.1016/j.jvolgeores.2005.06.002
6. Coogan L.A. Aluminum-in-olivine thermometry of primitive basalts: evidence of an anomalously hot mantle source for large igneous provinces. / L.A. Coogan, A.D. Saunders, R.N. Wilson // Chemical Geology. – 2014. – Vol. 368. – p. 1-10. – DOI: 10.1016/j.chemgeo.2014.01.004
7. Gertisser R. From basalt to dacite: origin and evolution of the calc-alkaline series of Salina, Aeolian Arc, Italy. / R. Gertisser, J. Keller // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 2000. – Vol. 139. – № 5. – p. 607-626.

8. Grove T.L. Fractional crystallization and mantle-melting controls on calc-alkaline differentiation trends. / T.L. Grove, L.T. Elkins-Tanton, S.W. Parman et al. // *Contributions to Mineralogy and Petrology*. – 2003. – Vol. 145. – № 5. – p. 515-533. – DOI: 10.1007/s00410-003-0448-z
9. Smirnov S.Z. Parental Melts and Magma Storage of a Large-volume Dacite Eruption at Vetrovoy Isthmus (Iturup Island, Southern Kuril Islands): Insights into the Genesis of Subduction-zone Dacites. / S.Z. Smirnov, A.V. Rybin, N.N. Kruk et al. // *Journal of Petrology*. – 2019. – Vol. 60. – № 7. – p. 1349-1370. – DOI: 10.1093/petrology/egz032
10. Sobolev A.V. The amount of recycled crust in sources of mantle-derived melts. / A.V. Sobolev, A.W. Hofmann, D.V. Kuzmin et al. // *Science*. – 2007. – Vol. 316. – № 5823. – p. 412-417.