

**Анализ опубликованных минералогических данных для магматической серии пород Толбачинского дола и обсуждение механизма ее формирования**

**Черкашин Р.И., Озеров А.Ю.**

**Analysis of the published mineralogical data on the Tolbachinsky dol magmatic rock series and discussion of its formation mechanism**

**Cherkashin R.I., Ozerov A.Yu.**

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

На основе анализа опубликованных данных по петрохимическим составам породообразующих минералов в магматической серии пород Толбачинского дола показана крайняя неоднородность в распределении этих данных для вулканитов различного возраста и состава, как по количеству химических анализов минералов, так и по представленности различных фаз минералов в породе. Это затрудняет возможность объективной реконструкции механизма формирования пород серии.

**Введение.** Толбачинский дол – это зона ареального вулканизма, которая простирается на ~ 50 км к юго-юго-западу от вулкана Плоский Толбачик. В исторический период здесь произошли три крупных трещинных извержения: прорыв 1941 г., Большое трещинное Толбачинское извержение (БТТИ) в 1975-1976 гг. и Трещинное Толбачинское извержение имени 50-летия Института вулканологии (ТТИ-50) в 2012-2013 гг.

Состав вулканитов Толбачинского дола имеет широкий разброс от высокомагнезиальных базальтов к высокоглиноземистым базальт-андезибазальтам, при этом лавы контрастных составов могут поступать на поверхность в ходе одного извержения. Для высокомагнезиальных базальтов ( $MgO > 10$  вес. %,  $Al_2O_3 \sim 13$  вес. %) характерно преобладание практически афировых лав, что относит их к числу наиболее примитивных островодужных пород в мире [8]. Высокоглиноземистые лавы ( $MgO \sim 4$  вес. %,  $Al_2O_3 \sim 17$  вес. %) часто имеют мегаплагиофировый облик и большое количество нераскристаллизованного стекла [1]. Продукты последнего извержения ТТИ-50 существенно отличаются от других изученных вулканических пород Толбачинского дола более высоким содержанием щелочей и несовместимых элементов [2].

Современные представления об эволюции широкой и контрастной по составу магматической серии пород вулкана Толбачик допускают различные механизмы ее формирования, либо сочетание этих механизмов. По мнению одних авторов, в формировании магматической серии пород Толбачинского дола участвовали исходные магмы разного состава – высокомагнезиальные и высокоглиноземистые. Смешивание этих двух источников магм в промежуточных магматических камерах дает переходные петрохимические разности базальтов [3 и ссылки в ней]. По данным других исследователей [4, 5], длительные процессы фракционной кристаллизации способны привести к формированию высокоглиноземистых расплавов из более примитивных высокомагнезиальных. Существует также более сложная модель эволюции магм вулкана Толбачик в условиях открытой магматической системы, которая подразумевает периодическую подпитку очагов примитивными высоко-Mg магмами из глубины, а также процессы кристаллизационной дифференциации, смешивания примитивных и эволюционированных магм, их последующее фракционирование и извержение [8].

С точки зрения химического состава отдельных породообразующих минералов, на настоящий момент отсутствует систематическое исследование проблемы эволюции столь контрастной по составу магматической серии пород в лавах Толбачинского дола. В то же время, изучение петрохимии породообразующих минералов в этих лавах и их парагенезисов последовательно от высокомагнезиальных базальтов к высокоглиноземистым базальт-андезибазальтам помогло бы расшифровать пути и

механизмы эволюции пород в магматической серии и ответить на вопрос о генезисе этих пород.

**Анализ минералогических данных для серии пород Толбачинского дола.**

Список опубликованных на сегодняшний день работ, посвященных изучению Толбачинского вулканического массива, насчитывает около 600 источников, включающих как российские, так и зарубежные публикации. Данные по химическим составам породообразующих минералов (*Ol*, *Spx*, *Pl*, *Spl*) в лавах Толбачинского дола содержатся лишь в нескольких десятках публикаций, и более половины этих данных относятся к породам, изверженным в ходе БТТИ (1975-1976 гг.) и ТТИ-50 (2012-2013 гг.). На рис. 1 и в таблице видно, что для всех вулканитов Толбачинского дола, за исключением последних двух трещинных извержений, минералогические данные фрагментарны, нередко в работах представлены в отрыве от петрохимических составов изверженных пород, а для вулканитов старше 1700 лет отсутствуют совсем.

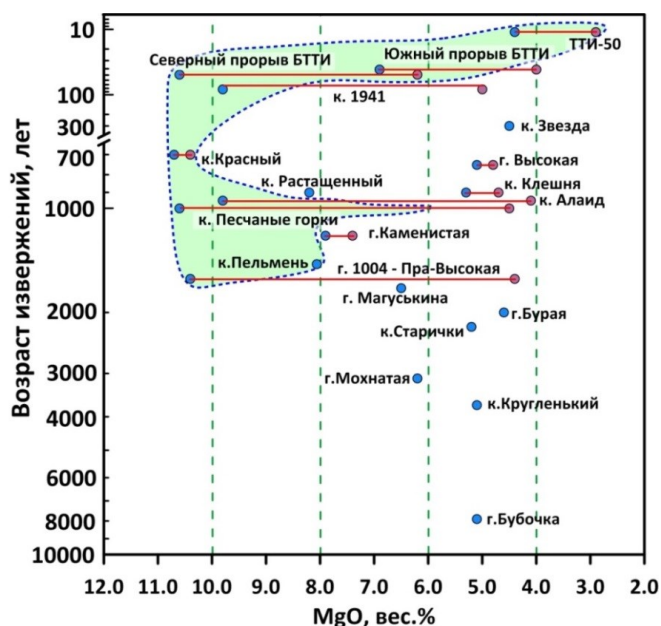


Рис. 1. Возраст некоторых вулканитов Толбачинского дола и содержание в них MgO, по данным [1, 7]. Зеленым полем показана область покрытия минералогическими данными (по публикациям) продуктов извержений Толбачинского дола разного возраста и состава.

Таблица. Анализ количества опубликованных данных по составам породообразующих минералов в вулканитах Толбачинского дола. Геохронологические определения возраста шлаковых конусов взяты из [1] с учетом обновленных определений <sup>14</sup>C возраста из [7]

Извержение (название конуса)	Примерный возраст извержения (лет)	Диапазон содержаний MgO в породах, вес. %		Количество опубликованных химических анализов породообразующих минералов				Источник минералогических данных
		от	до	<i>Ol</i>	<i>Px</i>	<i>Pl</i>	<i>Spl</i>	
ТТИ-50	11	4.4	2.9	126	34	176	29	[2, 3]
Южный прорыв БТТИ	48	6.9	4	17	13	17	37	[1 и ссылки в ней, 3, 6]
Северный прорыв БТТИ	49	10.6	6.2	66	10	8	69	
конус 1941	83	9.8	5	12	–	–	12	[6]
конус Красный	700	10.7	10.4	52	–	–	52	[6]
конус Алайд	950	9.8	4.1	45	–	–	45	[6]
конус Песчаные горки	1000	10.6	4.5	54	18	–	29	[1, 5, 6]
конус Каменистая	1200	7.9	7.4	–	1	–	–	[1]
конус Пельмень	1450	8.1		39	–	–	39	[6]
конус 1004	1600	10.4	4.4	16	1	2	16	[1, 6]
поле Магуськина	1700	6.5		1	2	–	–	[1]

Наличие достаточно большого числа химических анализов оливинов и включенных в них шпинелей для ряда высокомагнезиальных конусов Толбачинского

дола в отдельных публикациях [6] обусловлено задачами изучения вулканизма и геодинамики Курило-Камчатской островной дуги в целом. Поэтому в этих данных не представлено разнообразие фаз минералов в породе (фенокристаллы, субфенокристаллы и микролиты, в кристаллах – ядро или край зерна), важное для понимания эволюции того или иного минерала.

В наиболее изученных лавах последних двух ивержений общее число химических анализов минералов для лав последнего ивержения ТТИ-50 заметно выше (365 анализов), чем для лав более крупного и петрохимически разнородного ивержения БТТИ (237 анализов). Это также подчеркивает значительную диспропорцию в степени изученности продуктов различных ивержений Толбачинского дола.

Вариационные диаграммы на рис. 2 построены согласно опубликованным данным. Полями составов оконтурены минералы лав наиболее изученных трещинных ивержений Толбачинского дола – БТТИ и ТТИ-50. Отдельными точками показаны составы минералов в продуктах различных голоценовых ивержений. Из графиков видно, что среди минералов в лавах голоценовых ивержений Толбачинского дола больше всего точек составов оливинов (и включенных в них шпинелей) в различных высокомагнезиальных базальтах из работы [6]. Эта работа посвящена изучению хромшпинелей в лавах Камчатки, и данные по составам оливинов ранней генерации в ней лишь отчасти характеризуют включающие их высокомагнезиальные породы. Опубликованные петрохимические данные по плагиоклазам и пироксенам в лавах голоценовых ивержений Толбачинского дола еще более скудны. Серые поля составов, взятые из работы [3], также характеризуют составы минералов в лавах голоценовых ивержений Толбачинского дола старше 1.7 тыс. лет. Однако, и в обсуждаемой работе, и в других ранее опубликованных отсутствуют исходные табличные данные по петрохимии этих минералов и указание на то, к лавам каких ивержений они относятся.

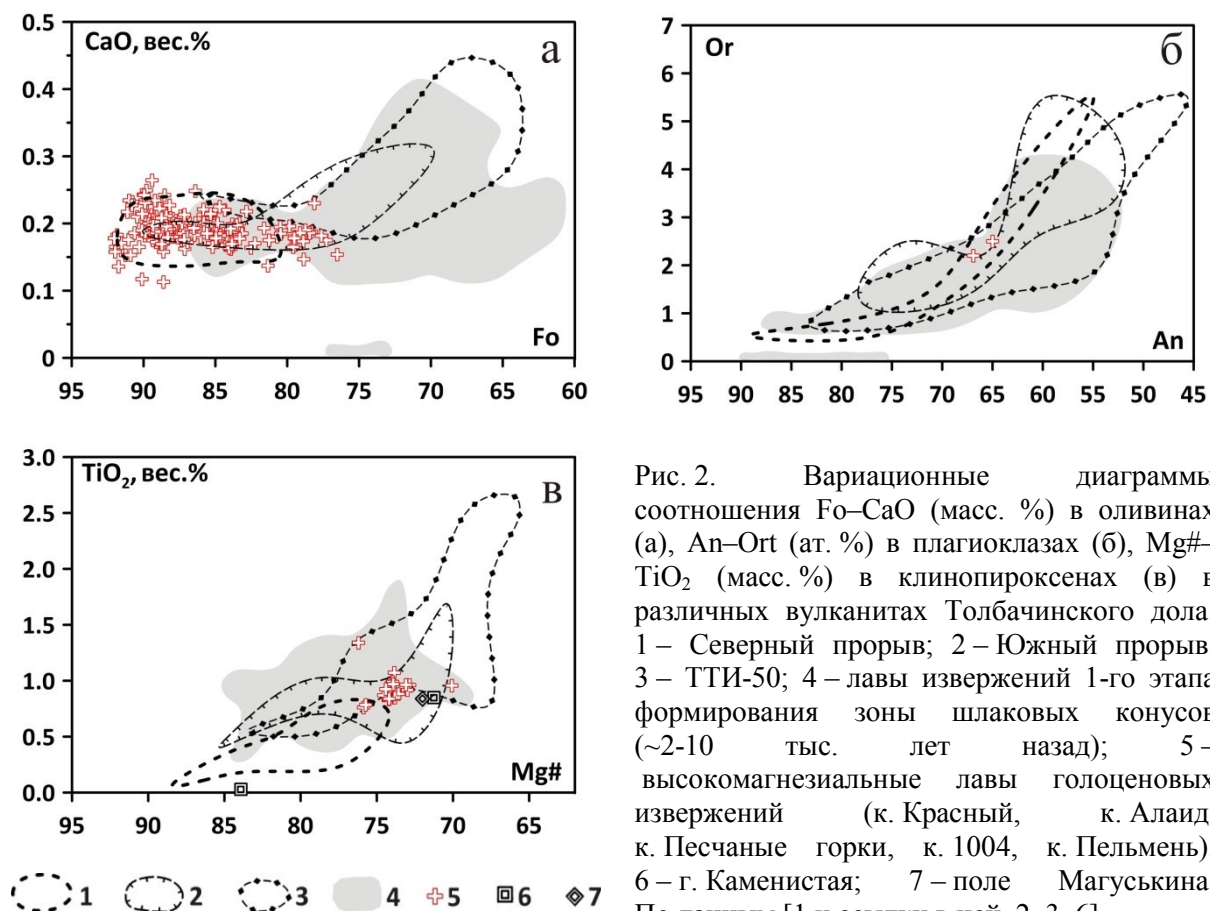


Рис. 2. Вариационные диаграммы соотношения Fo–CaO (масс. %) в оливинах (а), An–Ort (ат. %) в плагиоклазах (б), Mg#–TiO<sub>2</sub> (масс. %) в клинопироксенах (в) в различных вулканитах Толбачинского дола: 1 – Северный прорыв; 2 – Южный прорыв; 3 – ТТИ-50; 4 – лавы ивержений 1-го этапа формирования зоны шлаковых конусов (~2-10 тыс. лет назад); 5 – высокомагнезиальные лавы голоценовых ивержений (к. Красный, к. Алайд, к. Песчаные горки, к. 1004, к. Пельмень); 6 – г. Каменистая; 7 – поле Магуськина. По данным [1 и ссылки в ней, 2, 3, 6].

Помимо собственно минералогии, важный аспект при рассмотрении механизма формирования серии пород Толбачинского дола играет петрография пород. Так, например, высокомагнезиальные базальты Северного прорыва – это практически афировые мелкопористые породы, в которых субфенокристаллы оливина и клинопироксена размером более 0.1 мм редки [1]. Высокомагнезиальные базальты горы 1004, в свою очередь, – это порфиновые породы с крупными вкрапленниками оливина до 5-7 мм, занимающими до 10 % объема породы [8]. При этом, и те, и другие лавы петрохимически идентичны. Факт наличия порфировых и афировых структур в породах вулкана Толбачик с одинаковым валовым химическим составом ставит вопрос о различиях в механизмах формирования этих петрографических разностей.

**Заключение.** Анализ опубликованных на сегодняшний день минералогических данных о магматической серии пород Толбачинского дола показал, что эти данные для продуктов извержений разного возраста и состава распределены крайне неоднородно как по числу петрохимических анализов минералов, так и по представленности различных фаз минералов в породе. При рассмотрении механизма формирования магматической серии пород вулкана Толбачик от высокомагнезиальных базальтов к высокоглиноземистым базальт-андезиобазальтам большинство исследователей игнорируют минералогический аспект, либо оставляют ему второстепенное значение. Однако, механизм формирования магматических серий пород связан с фракционированием минеральных фаз, и без пристального изучения эволюции их составов во всех породах серии невозможно объективно установить механизмы их формирования.

#### Список литературы

1. Большое трещинное Толбачинское извержение. Камчатка. 1975-1976. / Отв. ред. С.А. Федотов. М.: Наука, 1984. 637 с.
2. *Волынец А.О., Мельников Д.В., Грибоедова И.Г.* Вещественный состав вулканических пород Толбачинского трещинного извержения 2012-2013 гг. В кн.: Толбачинское трещинное извержение 2012-2013 гг. / Отв. ред. Е.И. Гордеев. Новосибирск. Издательство СО РАН, 2017. С. 173-214.
3. *Флеров Г.Б., Ананьев В.В., Пономарев Г.П.* Петрогенезис пород вулканов Острого и Плоского Толбачиков и соотношение вулканических проявлений базальтовой и трахибазальтовой магм на территории Толбачинского Дола (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. 2015. № 3. С. 15-35. <https://doi.org/10.7868/S0203030615030025>
4. *Чурикова Т.Г., Гордейчик Б.Н., Флеров Г.Б. и др.* Петрологическая, геохимическая и изотопная эволюция Толбачинского вулканического массива. В кн.: Толбачинское трещинное извержение 2012-2013 гг. / Отв. Ред. Е.И. Гордеев. Новосибирск. Издательство СО РАН. 2017. С. 131-172.
5. *Iveson A.A., Humphreys M.C., Jenner F.E. et al.* Tracing Volatiles, Halogens, and Chalcophile Metals during Melt Evolution at the Tolbachik Monogenetic Field, Kamchatka // Journal of Petrology. 2022. Т. 63. № 9. P. 1-22. <https://doi.org/10.1093/petrology/egac087>
6. *Nekrylov N., Portnyagin M.V., Kamenetsky V.S. et al.* Chromium spinel in Late Quaternary volcanic rocks from Kamchatka: Implications for spatial compositional variability of subarc mantle and its oxidation state // Lithos. 2018. V. 322. P. 212-224. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2018.10.011>
7. *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>
8. *Portnyagin M., Duggen S., Hauff F. et al.* Geochemistry of the late Holocene rocks from the Tolbachik volcanic field, Kamchatka: quantitative modelling of subduction-related open magmatic systems // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2015. V. 307. P. 133-155. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2015.08.015>