

МАГНИТНЫЕ СВОЙСТВА БАЗАЛЬТОВ ТОЛБАЧИНСКОГО ДОЛА

*Гирина О.А.¹, Баженов Е.В.²*¹ *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, girina@kscnet.ru*² *Камчатский государственный университет им. В. Беринга, г. Петропавловск-Камчатский*

Во время полевых работ были исследованы базальты Толбачинского дола и их магнитные свойства. По химическому составу породы Толбачинского дола относятся к магнезиальным (например, извержений 1941 г. и 1975 г.) и глиноземистым базальтам (например, извержений Клеши и поля Магуськина). Выяснено, что для пород Толбачинского дола величина магнитной восприимчивости глиноземистых базальтов ниже, чем магнезиальных.

Введение

Многие вулканологи, изучавшие вулканы Северной группы Камчатки, приводили краткое описание вулкана Толбачик в своих работах [4, 7, 9, 11 и др.]. Специальные исследования Толбачика впервые провели В.А. Ермаков и А.А. Важеевская [6]. В юго-западной части Ключевской группы вулканов расположены крупные тесно сросшиеся вулканы Острый Толбачик (3682 м) и Плоский Толбачик (3085 м), возникшие на едином основании, представляющим собой постройку правулкана [6]. Возраст правулкана Толбачик определяется как средне-верхнеплейстоценовый; его отложения, обнажающиеся в долине р. Студеной и в днищах долин к востоку от Плоского Толбачика, представлены преимущественно лавами, пирокластик связана с образованиями шлаковых конусов [6]. В нижних частях разрезов обнажаются оливин-пироксеновые и авгитофировые базальты, на них залегают плагиоклазовые базальты и андезибазальты. Отмечается субгоризонтальное или слабонаклонное (3-5 °) залегание лав в направлении от вершины Острого Толбачика. Вышеуказанные особенности позволили авторам работы [6] реконструировать правулкан Толбачик как щитовой вулкан диаметром примерно 11 км и мощностью отложений в центральной части до 1.0-1.5 км.

Образование стратовулканов Острый Толбачик и Плоский Толбачик относится ко второй половине верхнего плейстоцена; судя по перемежаемости их отложений, в начальную стадию развития они действовали синхронно как два самостоятельных центра [6, 11]. Образования вулканов очень похожи и представлены лавами, пирокластикой и пролювием. В нижних частях разрезов чередуются плагиоклазовые базальты и базальты без явных вкрапленников плагиоклаза, в средней и верхней частях преобладают плагиобазальты (андезибазальты) [6].

Б.И. Пийп [9, 11] в развитии вулкана Плоский Толбачик выделил две фазы: докальдерную и кальдерную, а также первым указал на сходство и одновозрастность кальдерных лав Плоского Толбачика и ареальных образований с юго-запада и северо-востока от Плоского Толбачика. Он предположил, что после формирования конуса стратовулкана произошло полное опустошение магматического очага, и кальдера «...возникла вследствие простого оседания вершины конуса над совершенно опустошенной магматической камерой» [11, стр. 56]. Появление кальдерных лав, аналогичных древним лавам фундамента Ключевской группы вулканов, Б.И. Пийп [11] связывал с раскрытием нового очага магмы, обязанного глубинным разломам, расколовшим тело вулкана. Возраст лав древней кальдеры Плоского Толбачика и ареальных зон относят к нижнему голоцену [5, 6]. Региональные зоны шлаковых конусов имеют общую протяженность ~ 65 км; юго-западная зона – ~ 40 км [5]. Угол схождения региональных зон в районе Плоского Толбачика ~ 150° [5].

В течение многих лет региональная трещинная зона, примыкающая с юга к вулканам Острый и Плоский Толбачики и получившая название “Толбачинский дол”, находилась в состоянии относительного покоя, хотя слабые вулканические землетрясения в этом районе сейсмологи регистрировали почти постоянно. Имеются только три документально подтвержденных извержения на Толбачинском долу: в 1941 г. [10], в 1975-1976 гг. - Большое трещинное Толбачинское извержение (БТТИ) [1], настоящее извержение 2012-2013 гг. (<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/index.php?n=2012-19>).

Авторами в 2011 г. были обследованы лавы извержения 1941 г., Северного прорыва БТТИ 1975 г., конуса Клеши, поля Магуськина и дайковый комплекс Долины Изваяний на склоне вулкана Острый Толбачик; с помощью полевого прибора Каппаметр КТ-6 (SatisGeo) была измерена магнитная восприимчивость лав дайки и потоков вышеуказанных объектов.

Краткое описание объектов исследования



Рис. 1. Породы Северного прорыва 1975 г.: лавовый поток конуса № 2. Фото О. А. Гириной.



Рис. 2. Породы лавового потока 1941 г. Фото О. Гириной.



Рис. 3. Лавовый поток конуса Клешня. Фото О.А. Гириной



Рис. 4. Дайки Долины Изваяний. Фото О.А. Гириной.

В 1975 г. извержение началось 6 июля и продолжалось около 1.5 лет. Северный прорыв формировался так: в 18 км от вулкана Плоский Толбачик образовалась протяженная полоса трещин и на них начали последовательно формироваться 6 шлаковых конусов. На главной трещине выросли три конуса: самым высоким (около 300 м) стал первый, названный именем известного вулканолога Г.С. Горшкова; при формировании второго конуса излился мощный лавовый поток протяженностью 5 км; третий конус содержал два кратера. На Северном прорыве были извержены магнезиальные базальты, здесь преобладала эксплозивная деятельность (извергнуто пирокластики $\sim 0.9 \text{ км}^3$ и лавы $\sim 0.2 \text{ км}^3$). Общий объем изверженных продуктов БТТИ составил около $\sim 2.13 \text{ км}^3$ [1]. Продукты представлены афировыми и субафировыми базальтами (рис. 1). Текстуры пород - плотные, пористые, шлаковидные. Минеральный состав субфенокристаллов постоянен, присутствует плагиоклаз, клинопироксен, оливин размером 2-8 мм. Основная масса сложена теми же минералами, преобладает плагиоклаз и вулканическое стекло [12].

В 1941 г. извержение началось 7 мая и продолжалось около недели, ему предшествовало повышение эксплозивной активности вершинного кратера вулкана Плоский Толбачик, начавшееся в сентябре 1939 г. [10]. На высоте около 1950 м над уровнем моря (н.у.м.) сформировался конус высотой 70 м и на запад от конуса по руслу сухой р. Бараньей двумя языками излился лавовый поток магнезиальных базальтов протяженностью 5 км и объемом лавы около 0.01 км^3 (рис. 2) [11]. В субафировых базальтах присутствуют редкие вкрапленники клинопироксена и плагиоклаза, реже оливина. Основная масса имеет интерсертальные структуры с варьирующими размерами микролитов. Выделяется генерация субфенокристаллов (от 0.2-0.5 до 0.8 мм), содержание которой в течение извержения изменялось от 3-4 до 8 %. Клинопироксен вкрапленников в течение извержения сменяется оливином. Оливин имеет состав Fe_{10-20} , плагиоклаз - An_{74} (битовнит) [5].

Породы конуса Клешня относятся к вулканитам, образовавшимся в региональной зоне шлаковых конусов 1000-1500 лет назад (л.н.) [2]. Лавы прорыва - субщелочные глиноземистые мега- и мезоплагиофировые базальты, в которых вкрапленники плагиоклаза (An_{30-90} , в основном андезин, лабрадор, битовнит) находятся в основной массе, сложенной плагиоклазом, орто- и клинопироксеном, роговой обманкой и стеклом, иногда кварцем (рис. 3) [5, 12].

Породы дайки вулкана Острый Толбачик (Долины Изваяний) сложены глиноземистыми базальтами (рис. 4). Вкрапленники представлены, в основном, плагиоклазом и пироксеном. Протяженность дайки более 700 м, мощность ее меняется от 1-1.5 м до 3-7 м. В верхней части склона вулкана породы дайки представлены плотными массивными базальтами с плитчатой и глыбовой отдельностью, в нижней

части склона вулкана в основании дайки обнажаются лавы с шаровой отдельностью.

Породы поля Магуськина относятся к вулканитам, образовавшимся в региональной зоне шлаковых конусов 1500-2000 л.н. [2]. Лавовые потоки сложены глиноземистыми базальтами промежуточного состава, вкрапленники представлены плагиоклазом, пироксеном и оливином, при преобладании плагиоклаза [2].

Состав пород

К глиноземистым породам Толбачинского дола относятся лавы с содержанием Al_2O_3 от 17.0 вес.% и выше, и MgO меньше 4.0 вес.%; к магнезиальным базальтам - породы с содержанием Al_2O_3 от 16.0 вес.% и меньше, MgO - больше 6.0 вес.% [13]. В связи с тем, что содержание Al_2O_3 для базальтов Клешни варьируется от ~ 16 до 19 вес.%, SiO_2 от ~ 50 до 51 вес.%; для даек - Al_2O_3 от ~ 15 до 18 вес.%, SiO_2 от ~ 50 до 53 вес.%; для пород 1941 г. - Al_2O_3 от ~ 14 до 17 вес.% и SiO_2 от ~ 49 до 50 вес.%; для лав 1975 г. - Al_2O_3 от ~ 12 до 15 вес.% и SiO_2 от ~ 49 до 51 вес.%; а также содержание в породах MgO имеет следующее распределение: для лав Клешни - от ~ 3 до 5 вес.%; для даек - от ~ 4 до 7 вес.%; для лавы 1941 г. - от ~ 4 до 8 вес.%; для пород 1975 г. - от ~ 6 до 11 вес.%; согласно вышеприведенной классификации, а также многочисленным работам по БТТИ, например, [1, 5, 12, 13], породы Клешни и даек относятся к глиноземистым базальтам, породы лав 1941 и 1975 гг. - к магнезиальным базальтам.

В связи с тем, что на величину магнитной восприимчивости базальтов может влиять содержание в породах железа и магния, отметим содержание в них FeO : в лавах Клешни от ~ 2 до 9 вес.%; в дайках - от ~ 6 до 8 вес.%; в породах 1941 г. - от ~ 4 до 9 вес.%; в лавах 1975 г. - от ~ 5 до 8 вес.%; и величины FeO/MgO : для пород Клешни - от ~ 0.5 до 2.5 вес.%; для даек - от ~ 1 до 2 вес.%; для лав 1941 г. - от ~ 0.4 до 1.5 вес.%; для пород 1975 г. - от ~ 0.5 до 1.0 вес.%. Заметим, что диапазон изменения содержания оксида железа, а так же величины FeO/MgO , наименьшие для пород даек.

Согласно соотношениям, показанным в работе [13, рис. 2, 3], изученные породы относятся: лавы 1941 г. и 1975 г. - к магнезиальным базальтам умеренной щёлочности, лавы Клешни и дайки - к глиноземистым субщелочным базальтам.

Характеристика магнитной восприимчивости базальтов Толбачинского дола

Магнитная восприимчивость пород (χ) характеризует способность породы намагничиваться под воздействием магнитного поля земли [3]. Ее величина зависит от петрофизических свойств пород - их химического и минерального состава, структурно-текстурных особенностей. Наибольшее влияние на χ оказывает содержание в породе пара- и ферромагнетиков, в данном случае, темноцветных минералов - чем выше содержание и размер темноцветных минералов, тем выше магнитная восприимчивость пород.

Таблица. Величина магнитной восприимчивости пород Толбачинского дола

Возраст пород	Извержение	$\chi \cdot 10^{-3}$ ед. Си
современные	1975 г.	$\frac{11.70 - 39.70}{22.75}$ (26)
современные	1941 г.	$\frac{9.89 - 32.00}{22.47}$ (54)
1000-1500 лет назад	Конус Клешня	$\frac{9.30 - 28.00}{17.23}$ (66)
1500-2000 лет назад	Поле Магуськина	$\frac{2.56 - 37.60}{9.64}$ (46)
не определен	Дайка вулкана Острый Толбачик	$\frac{5.45 - 23.60}{15.80}$ (85)

Примечание. В числителе - диапазон изменения величины магнитной восприимчивости базальтов, в знаменателе - среднее значение, в скобках - количество измерений.

Диапазон изменения величины магнитной восприимчивости базальтов Толбачинского дола - от 2.6 до $40 \cdot 10^{-3}$ ед. Си (рис. 5, табл.). Наибольшей магнитной восприимчивостью обладают магнезиальные базальты извержений 1941 и 1975 гг., наименьшей - глиноземистые базальты поля Магуськина, породы даек занимают среднее положение на графике (рис. 5). Анализ полученных

данных показал, что наибольшее влияние на вышеуказанное распределение показателей магнитной восприимчивости оказывает содержание в лавах MgO . Например, соотношение показателей магнетиальности MgO/Al_2O_3 и χ в изученных породах Толбачинского дола следующее: базальты Клеши имеют величины MgO/Al_2O_3 меньше 0.25 вес.%, а χ от 9 до $28 \cdot 10^{-3}$ ед. Си; породы даек MgO/Al_2O_3 от 0.25 до 0.35 вес.%, χ от 5 до $24 \cdot 10^{-3}$ ед. Си; базальты 1975 г. - MgO/Al_2O_3 от 0.35 до 0.40 вес.%, χ от 12 до $40 \cdot 10^{-3}$ ед. Си; лавы 1941 г. - MgO/Al_2O_3 от 0.35 до 0.40 вес.%, χ от 10 до $32 \cdot 10^{-3}$ ед. Си (рис. 5). Различия значений магнитной восприимчивости глиноземистых (породы конуса Клеши и поля Магуськина) и магнетиальных (извержений 1941 и 1975 гг.) базальтов проявляются достаточно хорошо (рис. 6). Среди магнетиальных базальтов диапазон изменения показателей магнитной восприимчивости шире для пород извержения 1975 г. (от 12 до $40 \cdot 10^{-3}$ ед. Си), чем для лав 1941 г. (от 10 до $32 \cdot 10^{-3}$ ед. Си), что связано с различной текстурой (массивной и пористой) разновидностей лав. Среди глиноземистых базальтов средняя величина магнитной восприимчивости выше у лав Клеши ($17 \cdot 10^{-3}$ ед. Си), по сравнению с лавами поля Магуськина ($10 \cdot 10^{-3}$ ед. Си), что связано, вероятно, с несколько большим содержанием темноцветных минералов и менее пористой текстурой пород Клеши (табл.).

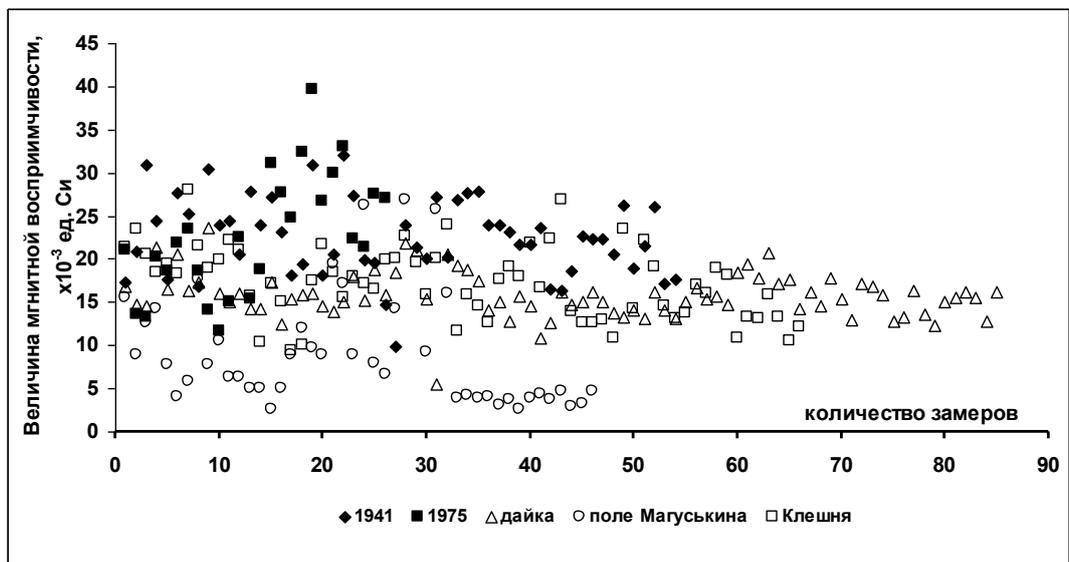


Рис. 5. Величина магнитной восприимчивости изученных лав Толбачинского дола.

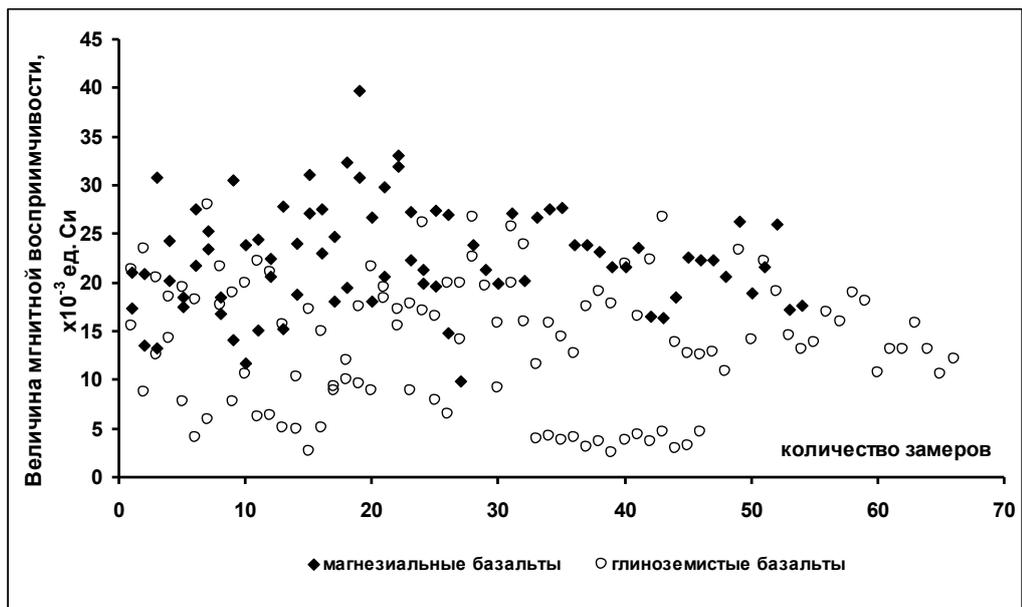


Рис. 6. Величина магнитной восприимчивости глиноземистых и магнетиальных базальтов Толбачинского дола.

Анализ показателей магнитной восприимчивости базальтов разных возрастных групп показал, что наибольшими значениями χ обладают современные базальты (лавы 1941 и 1975 гг.) в отличие от более древних (1000-1500 л.н. (Клешня) и 1500-2000 л.н. (поле Магуськина)). Это может означать, что железо- и магнийсодержащие минералы в них свежие, не успели преобразоваться в другие. Наименьшая магнитная восприимчивость глиноземистых базальтов, извергшихся 1500-2000 л.н. (лавовые потоки поля Магуськина) напрямую связана с их наименьшей магнезиальностью, которая обусловлена, с одной стороны, составом пород, с другой стороны – их возрастом. Например, в работе [8] было отмечено, что древние базальтовые лавы имеют меньшую величину магнитной восприимчивости по сравнению с молодыми, что напрямую связано с пониженной магнезиальностью древних лав, а это, в свою очередь, является следствием преобразования темноцветных минералов с течением времени.

Выводы

Диапазон изменения величины магнитной восприимчивости изученных базальтов Толбачинского дола - от 2.6 до $40 \cdot 10^{-3}$ ед. Си (рис. 5, табл.).

Магнезиальные базальты имеют более высокие параметры магнитной восприимчивости по сравнению с глиноземистыми (чем выше содержание MgO в породе, тем выше значения магнитной восприимчивости пород).

Наибольшими значениями магнитной восприимчивости обладают лавы современных извержений (1941 и 1975 гг.) Толбачинского дола, наименьшими - породы лавовых потоков поля Магуськина.

Список литературы

1. Большое трещинное Толбачинское извержение (БТТИ, 1975-1976 гг., Камчатка) // под ред. С.А. Федотова. М.: Наука, 1984. 638 с.
2. Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., Флеров Г.Б. и др. Голоценовые вулканизм Толбачинской региональной зоны шлаковых конусов // Большое трещинное Толбачинское извержение (1975-1976 гг., Камчатка). М.: Наука, 1984. С. 223-276.
3. Вахромеев Г.С., Ерофеев Л.Я., Канайкин В.С., Номоконова Г.Г. Петрофизика. Томск: ТГУ. 1997. 461 с.
4. Влодавец В.И. Ключевская группа вулканов. Труды Камчатской вулканол. станции. Вып. 1. М.-Л.: Изд-во АН СССР. 1940. 124 с.
5. Ермаков В.А. Формационное расчленение четвертичных вулканических пород. Недра, М., 1977. 224с
6. Ермаков В.А., Важеевская А.А. Вулканы Острый и Плоский Толбачик // Бюл. вулканол. станций. 1973. № 49. С. 43-53.
7. Заварицкий А.Н. Вулканы Камчатки. Труды лабор. вулканологии. Вып. 10. М.: Изд-во АН СССР. 1955. 152 с.
8. Ладыгин В.М., Никитин В.Н. О некоторых особенностях свойств молодых эффузивов Камчатки // Вестник МГУ. Серия 4. Геология. 1980. № 5. С. 81-86.
9. Пийп Б.И. Вулкан Толбачик // Бюл. вулканол. станции на Камчатке. 1954. № 20. С. 69-71.
10. Пийп Б.И. Новый побочный кратер вулкана Толбачик // Бюл. вулканол. станции на Камчатке. 1946. № 13. С. 10-21.
11. Пийп Б.И. Ключевская сопка и ее извержения в 1944-45 гг. и в прошлом //Труды лабор. вулканол. Вып. 11. М. Изд-во АН СССР. 1956. 312 с.
12. Флеров Г.Б., Андреев В.Н., Будников В.А., Цюрупа А.И. Петрология продуктов извержения // БТТИ, 1975-1976 гг., Камчатка. М.: Наука, 1984. С. 226-272.
13. Флеров Г.Б., Богоявленская Г.Е. Геолого-петрохимические особенности вулканизма Толбачинской региональной зоны шлаковых конусов // Геологические и геофизические данные о Большом трещинном Толбачинском извержении 1975-1976 гг. М.: Наука. 1978. С. 73-85.