



УДК 551.21

Т. А. Котенко, Л. В. Котенко

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,
Петропавловск-Камчатский, 683 006;
e-mail: kotenko@sakhalin.ru

Новые результаты изучения термальных полей вулкана Эбеко (Северные Курилы)

Приводятся новые данные о термометрии и геохимии источников и газов термальных полей вулкана Эбеко — Северо-Восточном и Июльском, имеющих общую подводящую структуру.

Вулкан Эбеко — единственный действующий вулкан северной части хребта Вернадского о. Парамушир. Для него характерны фреатические и фреато-магматические извержения с периодичностью около 20–30 лет. В межэруптивных периоды наблюдается интенсивная фумарольная и гидротермальная деятельность, тепловая мощность фумарольных струй и термальных источников составляет около 30 МВт. В период 2005–2008 гг. наблюдалось усиление фумарольной активности, завершившееся в 2009–2010 гг. тремя эксплозивными извержениями. В настоящее время вулкан находится, предположительно, в постэруптивной стадии активности, сохраняется высокая тепловая мощность (только для фумарольных струй она составляет 70–200 МВт).

В 2005–2010 гг. получены новые данные о термальных полях, прилегающих к Северному кратеру вулкана — Июльском и Северо-Восточном (рис. 1). Согласно геоморфологической карте вулкана Эбе-

ко [5], рассматриваемые термальные поля приурочены к линиям контакта лавового потока с более молодым пирокластическим конусом Северного кратера (поле Июльское), или доледниковым гребнем (остаток древней соммы вулкана Эбеко) — поле Северо-Восточное. Активно действовавшая с 1963 г., но потухшая ныне фумарола Гремучая [9], находится на границе этого же лавового потока и пирокластического конуса Восточного цирка (рис. 2). Эти поля явно имеют общую подводящую структуру: долговременная разгрузка происходит через хорошо проработанные каналы Северо-Восточного поля. Разгрузка избыточного вещества и энергии через выше расположенные каналы происходит при активизации фумарольной деятельности или уже в процессе извержения вулкана, за счёт роста давления внутри гидротермальной системы (рис. 3). После сброса энергии во время извержения, активность новых проявлений медленно угасает. Поле

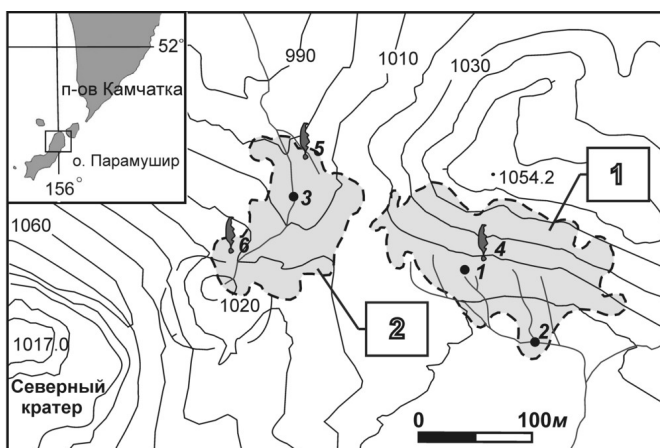


Рис. 1. Схема расположения термальных полей. Топографическая основа В. Н. Двигало (1989 г.) с изменениями [2]. 1 — Северо-Восточное поле, 2 — Июльское поле. Курсивом обозначены основные точки отбора фумарольных газов и термальных вод. 1 — Большой котел, 2 — исток руч. Лагерный, 3 — исток р. Юрьева; фумаролы: 4 — «Ревущая», 5 — «Северная», 6 — «Верхние».

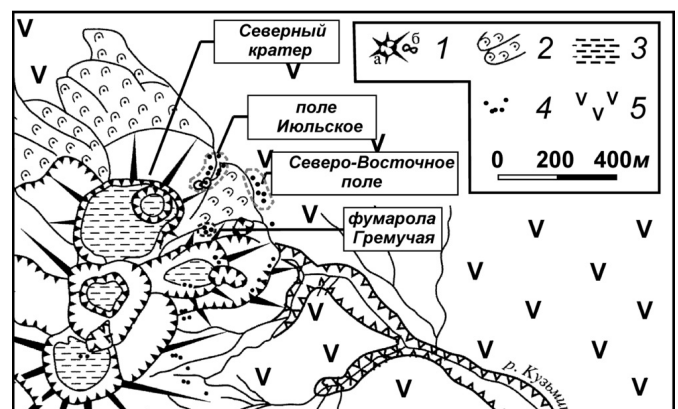


Рис. 2. Геолого-геоморфологическая карта вулкана Эбеко по [5] с дополнениями. 1 — вулканические аппараты (а — конусы и кратеры, б — воронки взрыва), 2 — лавовые потоки, 3 — озерные отложения, 4 — фумаролы, 5 — вулканические образования более раннего возраста $Q_3-Q_4^1$.

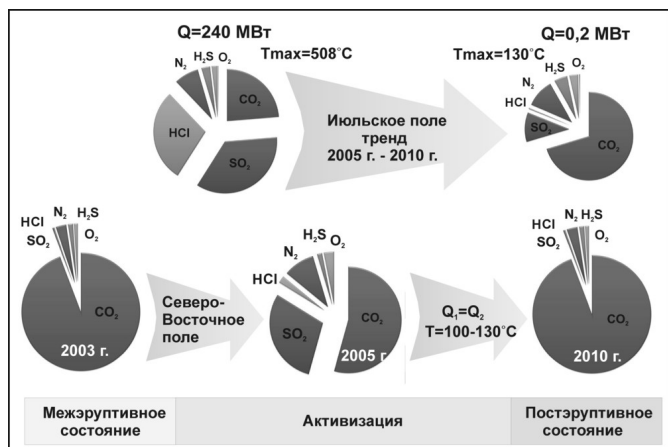


Рис. 3. Диаграмма изменения относительного содержания основных компонентов фумарольных газов (без H_2O) термальных полей Июльское и Северо-Восточное, температуры газов и общего теплового потока (Q) со временем.



Рис. 4. Фумарольное поле Июльское в августе 2006 г. Фото Л. В. Котенко.

Июльское (рис. 4) образовалось в 2005 г. Для него изначально была характерна мощная фумарольная деятельность [3], с температурами газов до 508°C , а так же высокое относительное содержание в составе газовой смеси газов группы серы и HCl . После серии фреатических извержений 2009–2010 гг. мощность фумарол упала, температура газов снизилась до $100-130^\circ\text{C}$. Максимальный вынос тепла фумаролами поля Июльское составлял 240 МВт, что на порядок превышало мощность остальных фумарольных полей до активизации вулкана.

В 2005–2010 гг. проводились геохимические исследования на выбранных объектах, в 2010 г. была сделана их термометрическая съёмка. При помощи GPS-навигатора были заложены шурфы по сетке с шагом 10 м глубиной 0,6–1 м. В результате, были построены термометрические карты, схемы расположения основных фумарольных и гидротермальных выходов. Для Северо-Восточного поля (рис. 5) сде-

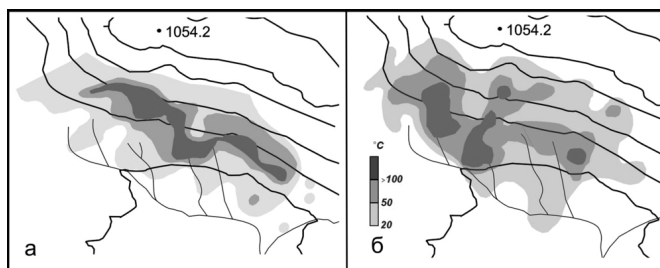


Рис. 5. Распределение температуры грунтов на глубине 0,6–1 м на Северо-Восточном термальном поле: а – по [7], б – данные 2010 г.

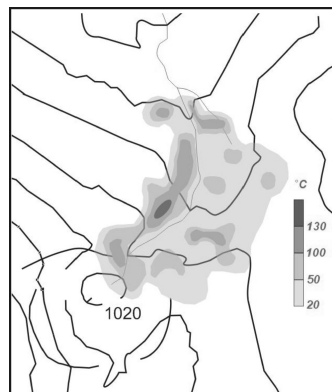


Рис. 6. Распределение температуры грунтов на термальном поле Июльское в 2010 г. на глубине 0,6–1 м.

лано сравнение полученных результатов с более ранними данными [4, 7], подтвердившее сохранение поля в близких границах и линейное расположение основных фумарольных и гидротермальных выходов. Распределение температур фумарольного поля Июльское (рис. 6) более пёстрое, прослеживаются как линейные площадные области высоких температур, так и точечные, связанные с отдельными фумарольными струями. Составлены схемы расположения основных фумарольных выходов и температур парогазовых струй на выходе из устья.

В 2005–2009 гг. проводились геохимические исследования на выбранных объектах. Отбирались пробы растворов из кипящих котлов и ручьёв и пробы фумарольных газов. Для водных проб в месте отбора с помощью портативного мультипараметрового анализатора Combo, определялись рН, Eh, температура растворов. Общий химический анализ выполнен в АЦ ИВиС ДВО РАН потенциометрическим, объёмным, колориметрическим и атомно-абсорбционным методами (аналитики С. В. Сергеева, О. В. Шульга), анализ микрокомпонентного состава – в АЦ Института геохимии им. А. П. Виноградова СО РАН (аналитик Г. П. Сандиминова) методом ICP-MS на приборе Plasma Quad. Фумарольные газы отбирались в отдельные вакуумированные барботёры по стандартной методике [8]. Анализ фумарольных газов выполнен в ИВиС ДВО РАН (аналитики В. Н. Шапарь, И. Ф. Тимофеева).

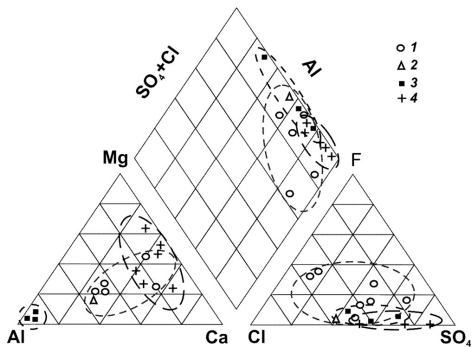


Рис. 7. Диаграмма химического состава термальных вод вулкана Эбеко. Фумарольное поле Июльское: 1 — источники, 2 — котлы. Северо-Восточное фумарольное поле: 3 — котлы, 4 — источники.

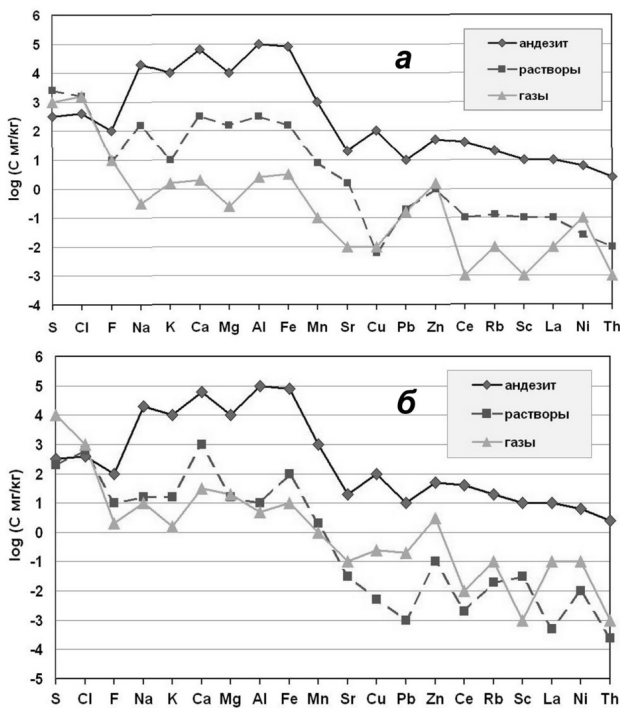


Рис. 8. Соотношение концентраций главных и трековых элементов неизменного андезита по [1], вод источников (данные авторов) и фумарольных газов (данные Казахая К., Геологическая служба Японии) для термальных полей: а — Июльское, б — Северо-Восточное.

Гидротермы Северо-Восточного фумарольного поля представлены термальными источниками, котлами со стоком малого дебита или бессточными и паргазовыми струями. Растворы источников и котлов ультракислые (pH = 0–1,37) сульфатно-хлоридные водородно-алюминиевые. Температура воды составляет 85–98°С, минерализация — 11–27 г/л. Для Июльского поля характерны ультракислые (pH = 1,89–2,44) сульфатно-хлоридные алюминево-кальциевые термы с температурой 18–53°С для ручьёв и 88–96°С для термальных котлов.

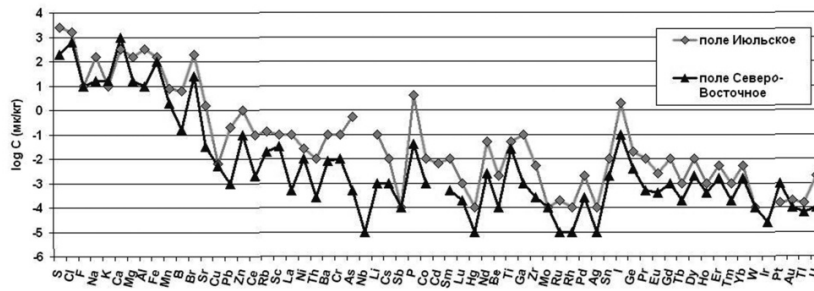


Рис. 9. Концентрация главных и трековых элементов в воде термальных источников.

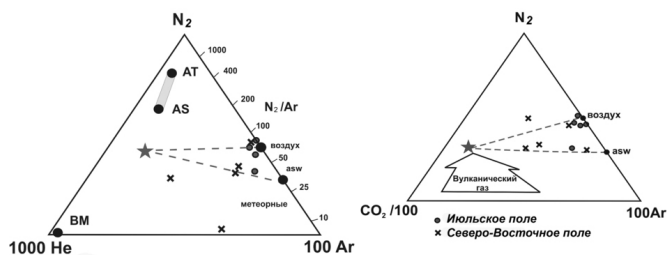


Рис. 10. Диаграммы Гиггенбаха для фумарольных газов вулкана Эбеко. AS — субдуцированный андезит, AT — термогенный андезит, ВТ — базальтовая мантия, аsw — насыщенные воздухом подземные воды. Звездочкой обозначен состав первичного вулканического газа по [10].

Общая минерализация от 4 до 11 г/л. Суммарный дебит ручьёв не более 2 л/с. Химический состав источников Июльского поля отличен от источников Северо-Восточного поля (как ручьёв, так и термальных котлов) (рис. 7). Анионный состав вод преимущественно сульфатно-хлоридный, но для поля Июльское характерен сдвиг в сторону Cl⁺ и значительное количество F⁻. Преобладающим катионом для растворов термальных котлов Северо-Восточного поля является Al³⁺ при значительном содержании H⁺. Растворы Июльского поля образуют компактную группу с большим, чем на Северо-Восточном поле содержанием (после Al³⁺) Ca²⁺ и Mg²⁺ и занимают промежуточное положение между котлами и источниками Северо-Восточного поля.

Сравнение концентраций некоторых главных и трековых элементов в составе вмещающих пород, кислых вод и фумарольных газов, показывает, что все кислые растворы образованы в результате адсорбции подземными водами вулканических газов (SO₂, H₂S, HCl) (см. рис. 8). Катионный состав воды источников свидетельствует о растворении вмещающих пород: концентрация большинства элементов в воде источников поля Июльское выше на порядок и более (рис. 9), что объясняется истощением пород Северо-Восточного поля в результате длительного сернокислотного выщелачивания в отношении этих элементов (табл. 1). Сходное распределение катионов в воде источников подтверждает единый генезис формирующих их флюидов. На термальном

Таблица 1. Сравнительный химический состав (%) андезита: 1 — свежего, 2 — измененного до опалово-алунитовой породы по [6].

	1	2
SiO ₂	58,29	51,52
TiO ₂	0,68	0,62
Al ₂ O ₃	16,24	15,1
FeO _{общ.}	6,98	2,45
MnO	0,18	0
CaO	6,28	0,94
MgO	2,94	0,34
Na ₂ O	3,01	1,52
п.п.п.*	1,00	2,85
P ₂ O ₅	0,19	0
Сумма	99,81	100

* потери при прокаливании

поле Северо-Восточное, в отличие от Июльского, фумарольные газы также демонстрируют активное взаимодействие с вмещающими породами. В фумарольных газах поля Июльское относительное содержание газов группы серы и HCl (см. рис. 3) значительно выше величин, наблюдаемых для Северо-Восточного поля, что объясняется отсутствием приповерхностного буфера на пути потока гидротерм. С целью рассмотрения происхождения газов были построены диаграммы Гиггенбаха [10] относительного содержания N₂-Ar-He и CO₂-N₂-Ar (рис. 10). Вариации относительных концентраций этих газов в пробах вулкана Эбеко показывают тренд в область вулканических газов андезитовых вулканов, но имеют значительную примесь воздуха или грунтовых вод, насыщенных воздухом.

Работа выполнена при финансовой поддержке Президиума ДВО РАН, проект 09-III-A-08-418,

Российского фонда фундаментальных исследований, проект 09-05-00022а.

Список литературы

1. Авдейко Г. П., Антонов А. Ю., Вольнец О. Н. Подводный вулканизм и зональность Курильской островной дуги. М.: Наука, 1992, 528 с.
2. Котенко Т. А., Котенко Л. В., Сандиминова Е. И. и др. Извержение вулкана Эбеко в январе-июне 2009 г. (о.Парамушир, Курильские острова) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. Изд-во КГПУ. Петропавловск-Камчатский. 2010. № 1. Выпуск 15. С. 56–68.
3. Котенко Т. А., Котенко Л. В., Шапарь В. Н. Активизация вулкана Эбеко в 2005–2006 гг. (остров Парамушир, Северные Курильские острова) // Вулканология и сейсмология. 2007. № 5. С. 3–13.
4. Кузьмин Д. Ю., Пушкарев В. Г. Изучение температурного поля и содержания радона в почвенно-пирокластическом чехле с целью картирования проницаемых зон кратерной части вулкана Эбеко // Материалы конф. молодых исследователей и учёных. Петропавловск-Камчатский. 2001. С. 50–57.
5. Мелекесцев И. В., Двигало В. Н., Кирьянов В. Ю. и др. Вулкан Эбеко (Курильские о-ва): история эруптивной активности и будущая вулканическая опасность. Ч. 2 // Вулканология и сейсмология. 1993. № 4. С. 24–41.
6. Набоко С. И. Гидротермальный метаморфизм пород в вулканических областях М.: Изд-во АН СССР, 1963. 172 с.
7. Нехорошев А. С. Геотермические условия и тепловой поток вулкана Эбеко // Бюл. вулканол. станций. 1960. № 29. С. 38–46.
8. Никитина Л. П., Меняйлов И. А., Шапарь В. Н. Модифицированные методы отбора и анализа фумарольных газов // Вулканология и сейсмология. 1989. № 4. С. 3–15.
9. Сидоров С. С. Активизация вулкана Эбеко в 1963–64 гг. // Бюл. вулканол. станций. 1965. № 40. С. 44–51.
10. Shinihara H., Giggenbach W., Kazahya K., Hedenquist J. Geochemistry of volcanic gases and hot springs of Satsuma-Iwojima, Japan; Following Matsuo // Geochemical Journal, 1993, Vol. 27, P. 271–285.