



УДК 551.21

Т. А. Котенко, Л. В. Котенко

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

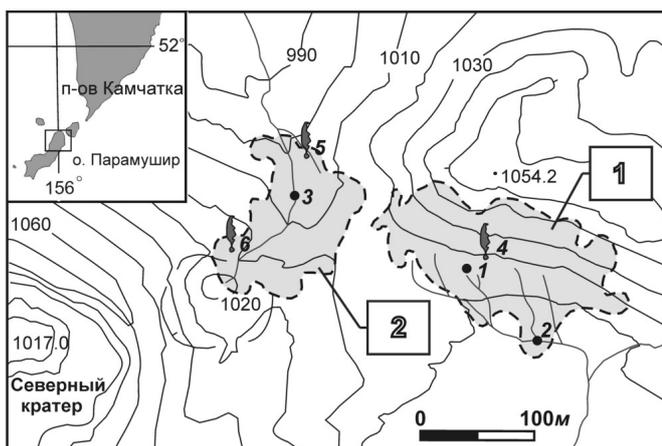
## Новые результаты изучения термальных полей вулкана Эбеко (Северные Курилы)

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

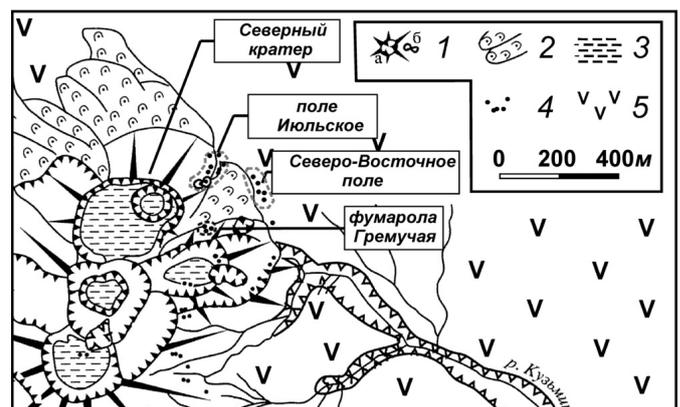
Вулкан Эбеко — единственный действующий вулкан северной части хребта Вернадского о. Парамушир. Для него характерны фреатические и фреато-магматические извержения с периодичностью около 20–30 лет. В межэруптивных периоды наблюдается интенсивная фумарольная и гидротермальная деятельность, тепловая мощность 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-

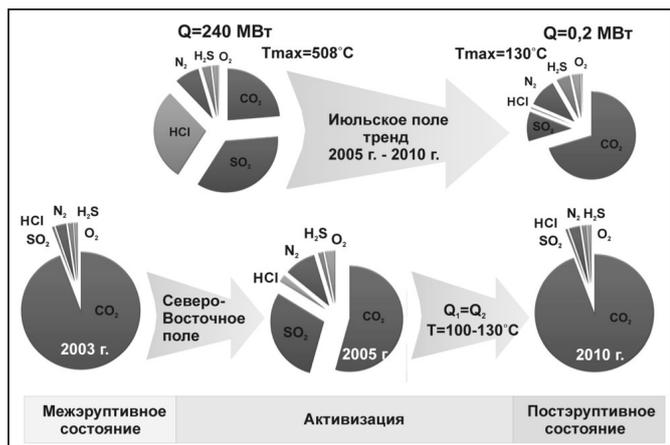
ко [5], рассматриваемые термальные поля приурочены к линиям контакта лавового потока с более молодым пирокластическим конусом Северного кратера (поле Июльское), или доледниковым гребнем (остаток древней соммы вулкана Эбеко) — поле Северо-Восточное. Активно действовавшая с 1963 г., но потухшая ныне фумарола 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  $Q_3-Q_4^1$ .



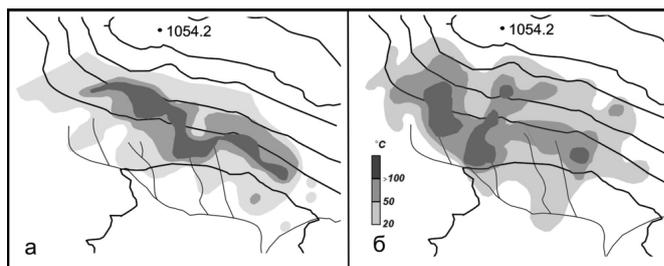
**Рис. 3.** Диаграмма изменения относительного содержания основных компонентов фумарольных газов (без H<sub>2</sub>O) термальных полей Июльское и Северо-Восточное, температуры газов и общего теплового потока (Q) со временем.



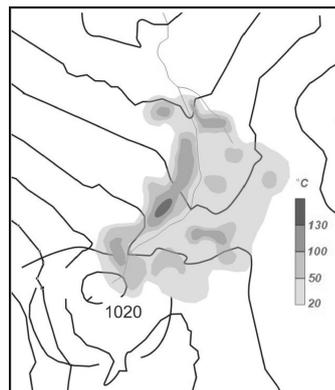
**Рис. 4.** Фумарольное поле Июльское в августе 2006 г. Фото Л. В. Котенко.

Июльское (рис. 4) образовалось в 2005 г. Для него изначально была характерна мощная фумарольная деятельность [3], с температурами газов до 508°С, 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°С. 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 pH, 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).

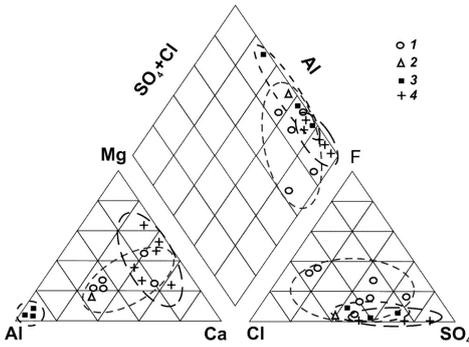


Рис. 7. Диаграмма химического состава термальных вод вулкана Эбеко. Фумарольное поле Июльское: 1 — источники, 2 — котлы. Северо-Восточное фумарольное поле: 3 — котлы, 4 — источники.

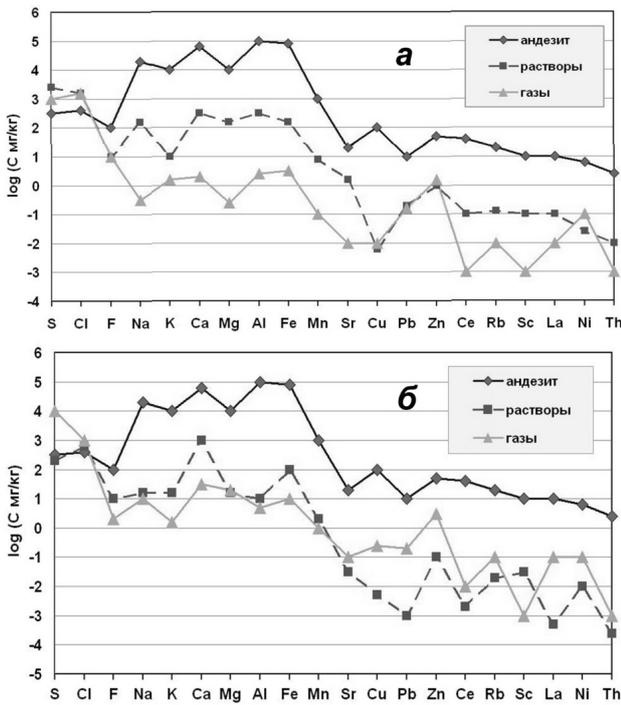


Рис. 8. Соотношение концентраций главных и трековых элементов неизменного андезита по [1], вод источников (данные авторов) и фумарольных газов (данные Казахая К., Геологическая служба Японии) для термальных полей: а — Июльское, б — Северо-Восточное.

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.

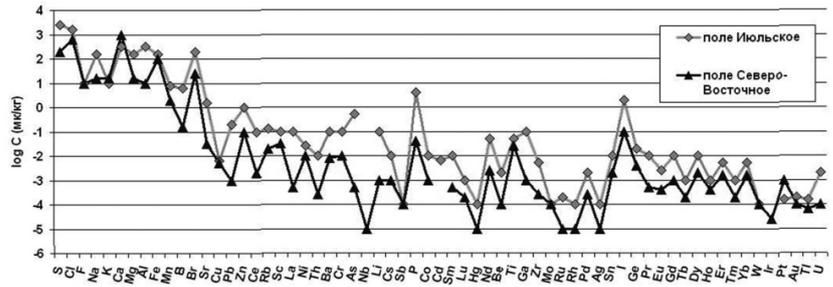


Рис. 9. Концентрация главных и трековых элементов в воде термальных источников.

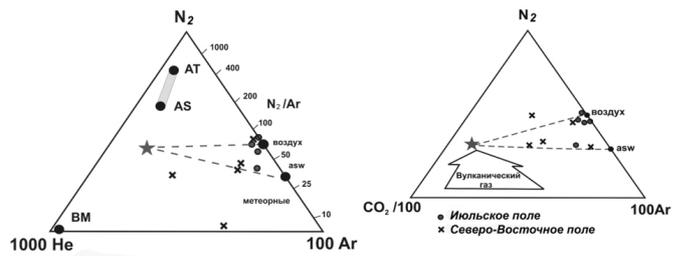


Рис. 10. Диаграммы Гиггенбаха для фумарольных газов вулкана Эбеко. AS — субдуцированный андезит, AT — термогенный андезит, ВТ — базальтовая мантия, asw — насыщенные воздухом подземные воды. Звездочкой обозначен состав первичного вулканического газа по [10].

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<sup>+</sup> и значительное количество F<sup>-</sup>. Преобладающим катионом для растворов термальных котлов Северо-Восточного поля является Al<sup>3+</sup> при значительном содержании H<sup>+</sup>. Растворы Июльского поля образуют компактную группу с большим, чем на Северо-Восточном поле содержанием (после Al<sup>3+</sup>) Ca<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup> 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 (SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, 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 <sub>2</sub>	58,29	51,52
TiO <sub>2</sub>	0,68	0,62
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,24	15,1
FeO <sub>общ.</sub>	6,98	2,45
MnO	0,18	0
CaO	6,28	0,94
MgO	2,94	0,34
Na <sub>2</sub> O	3,01	1,52
п.п.п.*	1,00	2,85
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	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 N<sub>2</sub>-Ar-He и CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub>-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., Сандимирова 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.