

ГЕОФИЗИКО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕРМАЛЬНЫХ ПОЛЕЙ ВУЛКАНА ЭБЕКО (О. ПАРАМУШИР)

© 2010 г. Г. Л. Панин*, Т. А. Котенко**, Л. В. Котенко**, Ю. Г. Карин*

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН
630090, г. Новосибирск, просп. Акад. Коптюга, 3
E-mail: paningl@ipgg.nsc.ru

**Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН
683006, г. Петропавловск-Камчатский, бульв. Пийпа, 9
E-mail: kotenko@sakhalin.ru

Поступила в редакцию 29.03.2010 г.

В статье обобщены результаты геофизических и геохимических работ, проведенных на фумарольных полях вулкана Эбеко. Целью исследований было выявление подводящей структуры каналов кипящих котлов и фумарол для уточнения характера транспорта вещества в приповерхностных условиях и его влияния на химизм гидротерм. На объектах совместно с индукционным частотным зондированием выполнена электротомография на постоянном токе. Построены изоповерхности удельного электрического сопротивления (УЭС) и разрезы, определены положения зон “расходных” гидротермальных резервуаров, определена структура подводящих каналов, получены УЭС для вмещающих пород выбранных объектов.

Ключевые слова: электроразведка, геохимия, вулканология, электротомография, частотное зондирование, гидротермы.

ВВЕДЕНИЕ

Особенности состава поверхностных гидротермальных проявлений зависят в немалой степени от структурных особенностей транспорта: трещиноватые породы и тем более наличие открытых каналов обуславливают беспрепятственный подъем флюидов к поверхности, уменьшая взаимодействие с вмещающими породами. Задача выявления структуры транспорта вещества осложнена тем, что исследуемый объект представлен не только твердыми, но и жидкими фазами, и непосредственное механическое вмешательство в систему нарушит ход естественного процесса. Однако в современной электроразведке существуют методы неразрушающего контроля, основанные как на контактном, так и на бесконтактном методе зондирования среды: частотное зондирование (ЧЗ) комплексом электромагнитного сканирования (ЭМС) [3] и электротомография. Комплексы аппаратуры ЭМС и многоэлектродной электроразведки на постоянном токе “Скала-48” [4] разработаны в Институте нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН.

Методика дистанционного зондирования вулканических структур была опробована и отработана [2] на термальных котлах Донного поля вулкана Мутновский. Физическими предпосылками для применения электроразведки являются контрастные значения УЭС для вмещающих пород и горячих высокоминерализованных растворов термаль-

ных источников: идентификация каналов во вмещающих породах, таким образом, сводится к обнаружению зон с относительно низким УЭС. Сопротивление пород для интерпретации геоэлектрических структур было заимствовано из литературных данных [2, 5, 6]: 500–10000 Ом·м – для неизменных андезитов, 50–300 Ом·м – для гидротермалитов и 0.1–1.0 Ом·м – для гидротермального флюида.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследовались гидротермы активного вулкана Эбеко (о. Парамушир, Северные Курилы). Фумарольные термы склонов вулкана Эбеко относятся к выходам подземных вод, локализованных в тектонических нарушениях, и связаны с зонами гидротермально измененных пород [1]. В настоящий момент вулкан находится в стадии повышенной фумарольной активности. Изучались фумарольные поля Северо-Восточное и Июльское (рис. 1). Эти объекты, несмотря на близость расположения и сходные вмещающие породы верхних горизонтов, отличаются контрастным химизмом гидротерм и фумарольных газов.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В 2005–2009 гг. отбирались пробы растворов из кипящих котлов и ручьев и пробы фумарольных газов (точки отбора проб на рис. 1). Для водных проб в месте отбора с помощью портативного мульти-

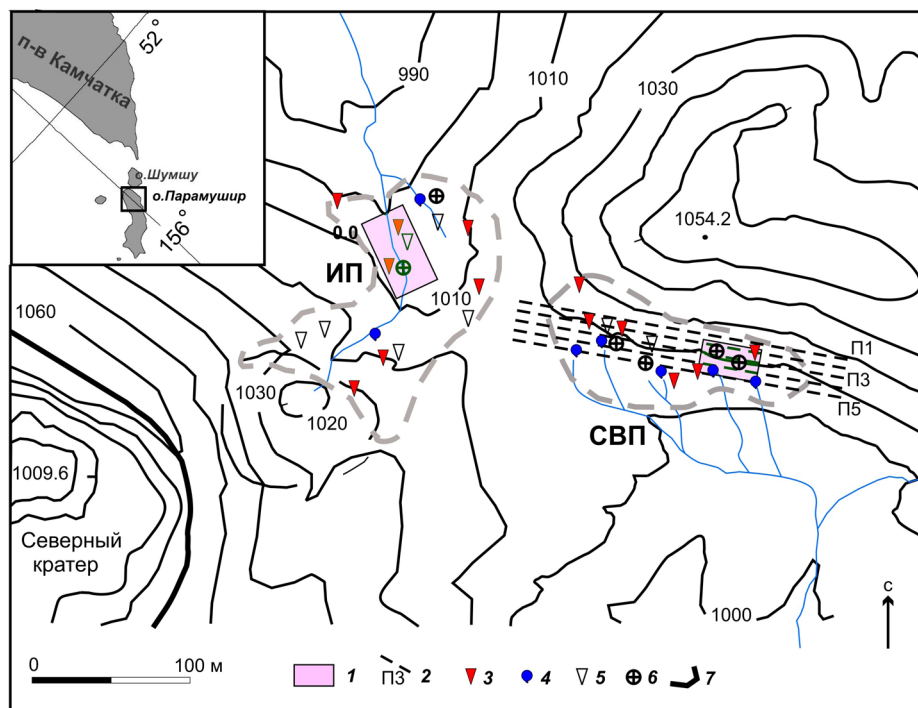


Рис. 1. Схема участков профилирования.

1 – участки зондирования ВЭЗ (где 0.0 – начало отсчета); 2 – профили ИЧЗ зондирования; 3 – фумаролы; 4–6 – точки отбора проб: 4 – воды ручьев и источников, 5 – фумарольных газов, 6 – воды термальных котлов; 7 – бровка кратерного уступа; ИП – Июльское фумарольное поле; СВП – Северо-Восточное фумарольное поле.

параметрового анализатора Combo определялись рН, Eh, и температура растворов. Общий химический анализ выполнен в АЦ ИВиС ДВО РАН потенциометрическим, объемным, колориметрическим и атомно-абсорбционным методами (аналитики С.В. Сергеева, О.В. Шульга). Анализ микрокомпонентного состава сделан в АЦ Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (аналитик Г.П. Сандимирова) методом индуктивной плазменной масс-спектрометрии (ICP-MS) на приборе Plasma Quad. Фумарольные газы отбирались в отдельные вакуумированные барботеры, наполненные 50 мл 4М КОН. Анализ фумарольных газов выполнен в ИВиС ДВО РАН (аналитики В.Н. Шапарь, И.Ф. Тимофеева).

В 2009 г. работы аппаратурой ЭМС на Северо-Восточном поле выполнялись на площадках с шагом по профилям 1 м. Электротомография проводилась с использованием двух электроразведочных кабелей, общее количество электродов которых равнялось 48. Шаг между электродами для электрических зондирований был выбран максимально возможным и равным 5 м для достижения наибольшей глубины зондирования (до 40 м) при максимальном разnose установки 235 м (пунктирные линии на рис. 1). Во всех случаях использовались установки Шлюмберже. ЧЗ выполнялось на участках профилей электротомографии там, где наблюдалось большое количество газо-гидротермальных

проявлений (рис. 1). Таким образом, ставилась задача детализации общей картины результатов электротомографии методом частотного зондирования.

На Июльском поле было сделано 14 профилей ЧЗ через 2 м друг от друга, шаг по профилям 1 м (рис. 1), перепад высот на одном профиле не более полуметра. Небольшой перепад дает возможность пренебречь рельефом без значительного искажения полученных результатов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Гидротермы Северо-Восточного фумарольного поля (рис. 1) представлены термальными источниками, котлами со стоком малого дебита или бессточными и парогазовыми струями. Растворы источников и котлов ультракислые (рН = 0–1.37) сульфатно-хлоридные водородно-алюминиевые. Температура воды составляет 85–98°C, минерализация – 11–27 г/л. Основным компонентом фумарольных газов является вода, содержание которой колеблется в пределах 97–99 мол. %. В сумму вулканических газов в порядке убывания входят также CO₂, SO₂, HCl, H₂S, N₂, O₂, Ar, H₂, CH₄.

Для Июльского поля характерны ультракислые (рН = 1.89–2.44) сульфатно-хлоридные алюминиево-кальциевые термы с температурой 18–53°C для ручьев и 88–96°C для термального котла с общей минерализацией от 4 до 11 г/л. Суммарный де-

бит ручьев не более 2 л/с. В составе фумарольных газов относительное содержание газов группы серы и HCl для Июльского поля значительно выше, чем для Северо-Восточного поля (рис. 2). Химический состав источников Июльского поля также отличается от источников Северо-Восточного поля (как ручьев, так и термальных котлов). Анионный состав вод преимущественно сульфатно-хлоридный (рис. 3), но для гидротерм Июльского поля 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. Для выявления структурных особенностей транспорта флюида, имеющего общее происхождение, но проявленного на поверхности гидротермами разного химизма, было проведено геофизическое зондирование.

Удельное сопротивление грунтов (УЭС) на рабочем участке Северо-Восточного поля колеблется в пределах 0.5–30 Ом·м по данным инверсии электротомографии и от 1 до 20 Ом·м по данным трансформации ЧЗ. Наиболее низкое удельное сопротивление наблюдается для участков открытых трещинных зон транспорта термальных котлов. Величина УЭС, согласно формуле для расчета данного параметра для свободных подземных вод

$$\rho = 8.4/M,$$

где ρ – УЭС, Ом·м; M – общая минерализация, г/л, определяется только ионной проводимостью цир-

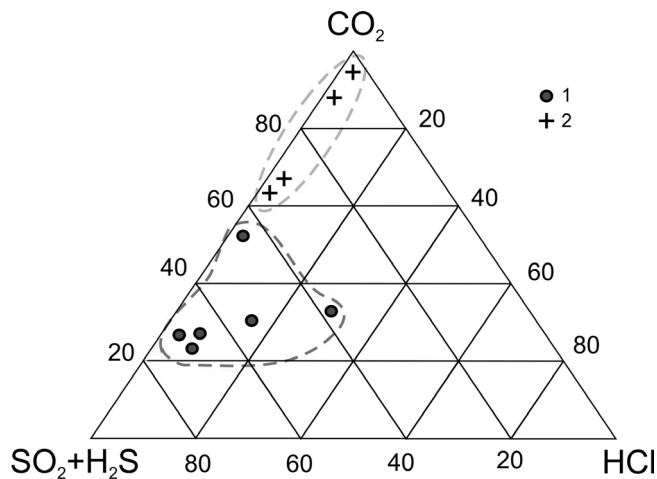


Рис. 2. Химический состав фумарольных газов вулкана Эбеко.

Термальные поля: 1 – Июльское, 2 – Северо-Восточное.

кулирующего раствора и равна 0.43–1.4 Ом·м. Затем следуют менее пористые вмещающие породы, величина УЭС (2–16 Ом·м) которых определяется меньшей водонасыщенностью. Максимальные значения УЭС (40–63 Ом·м) наблюдаются в околожерловых участках фумарольных выходов. Величина сопротивления мала и находится на нижней границе значений, характерных для гидротермально измененных пород, что связано с высокой температурой грунтов: температура пород на поверхности во время зондирования составляла 29–45.6°C, во всех шурфах (глубина 0.5 м) наблюдался рост температуры в среднем на 32.9°C. Гидротермальные объекты хорошо выделяются в виде аномалий понижен-

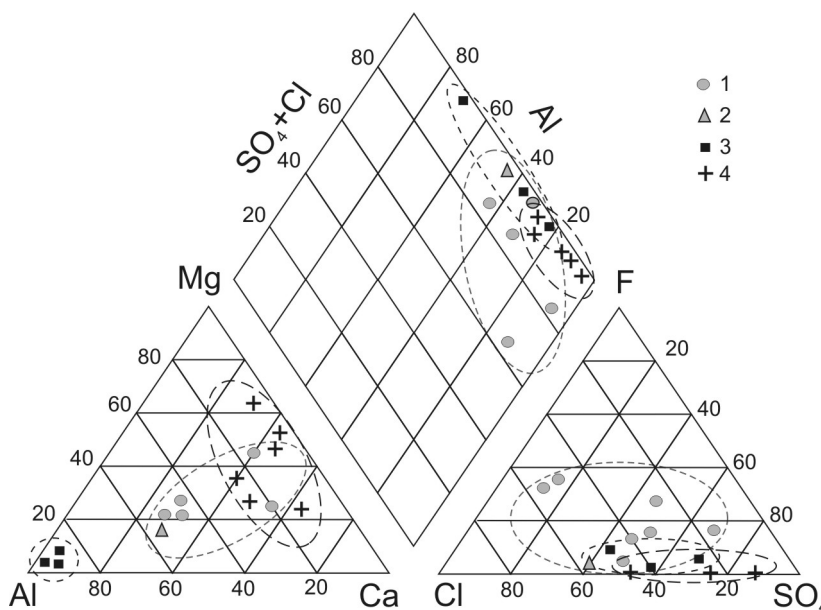


Рис. 3. Химический состав ультракислых вод вулкана Эбеко.

Термальные поля: 1 – Июльское (ручьи), 2 – Июльское (котел), 3 – Северо-Восточное (котлы), 4 – Северо-Восточное (источники).

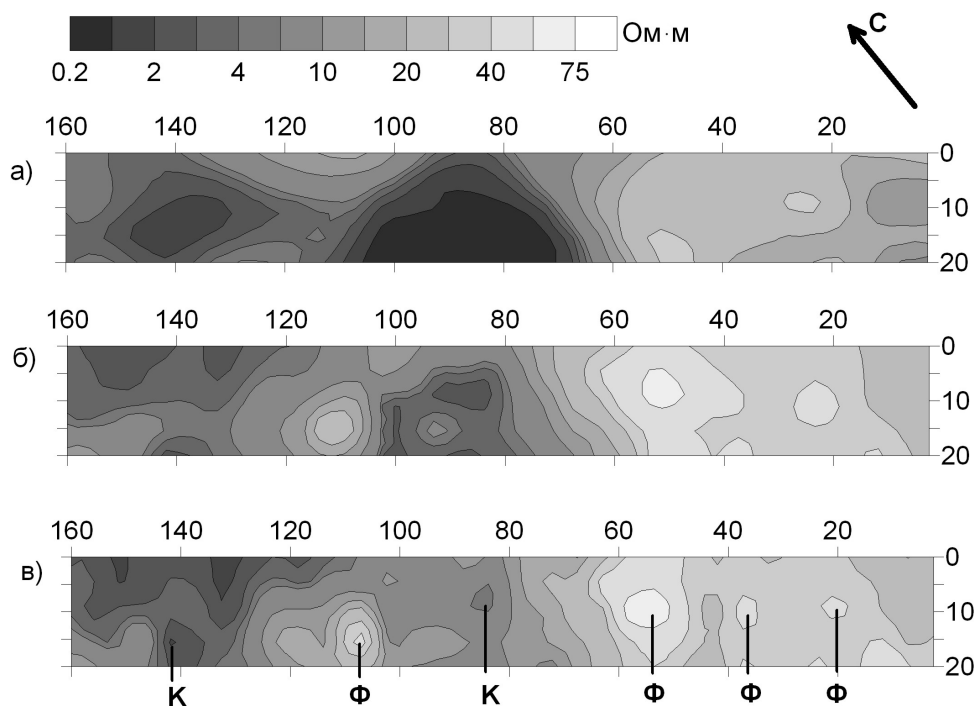


Рис. 4. Карты распределения УЭС электротомографии.

Глубина среза: а – 10 м, б – 4 м, в – дневная поверхность; Ф – крупные фумаролы, К – крупные термальные котлы (размеры в метрах).

ного удельного сопротивления на картах распределения УЭС до глубины нескольких метров (рис. 4). Для Северо-Восточного поля по данным частотного зондирования выделяется коническая структура подводящих каналов (рис. 5а), которая указывает на близкое расположение гидротермального резервуара, предположительно на глубине 5–8 м. Эти данные подтверждаются результатами электротомографии (рис. 6, 5б), где отчетливо видна конфигурация резервуара, питающего систему котлов и фумарол.

Для Июльского поля величины УЭС от 1 до 75 Ом·м, что в среднем выше в 2.5 раза по сравнению с Северо-Восточным полем, такие сопротивления обусловлены меньшей водонасыщенностью, значительной газовой составляющей и большим содержанием самородной серы. Поверхность термального поля практически вся бронирована серными потоками. Наименьшие значения УЭС наблюдаются в канале, питающем термальный котел, они несколько выше, чем на Северо-Восточном поле, благодаря меньшей минерализации термальных вод. Для термального котла отслеживается один общий вертикальный подводящий канал (рис. 5в). Его конфигурация позволяет предположить, что питающий гидротермальный резервуар расположен на большей глубине, чем на Северо-Восточном поле. Данные ЧЗ для Июльского поля не дополняются данными электротомографии из-за невозможности достичь удовлетворительного контакта электродов.

Плохой контакт переходных заземлений привел к полной отбраковке данных электротомографии.

ВЫВОДЫ

Для исследования внутренней структуры различных по химическому составу объектов термальных полей активного вулкана Эбеко были применены методы постоянного тока и частотного зондирования. Полученные данные подтверждают существующие представления о структуре верхней части разреза Северо-Восточного поля: подтверждено наличие близко расположенного гидротермального резервуара, для Июльского поля подобный объект не установлен. Отсутствие на Июльском поле приповерхностного буфера на пути потока гидротерм ведет к отличию состава его термальных вод и фумарольных газов от проявлений Северо-Восточного поля. В частности, поглощение водами поверхностной циркуляции HCl приводит к дефициту Cl⁻ в фумарольных газах Северо-Восточного поля и обогащению данным ионом термальных вод. В результате газы фумарол Июльского поля более близки по составу к первичным глубинным гидротермам.

Большую помощь авторам в интерпретации, организации и проведении полевых работ оказали А.К. Манштейн, С.Б. Бортникова, Д.Ю. Кузьмин, Е.В. Балков.

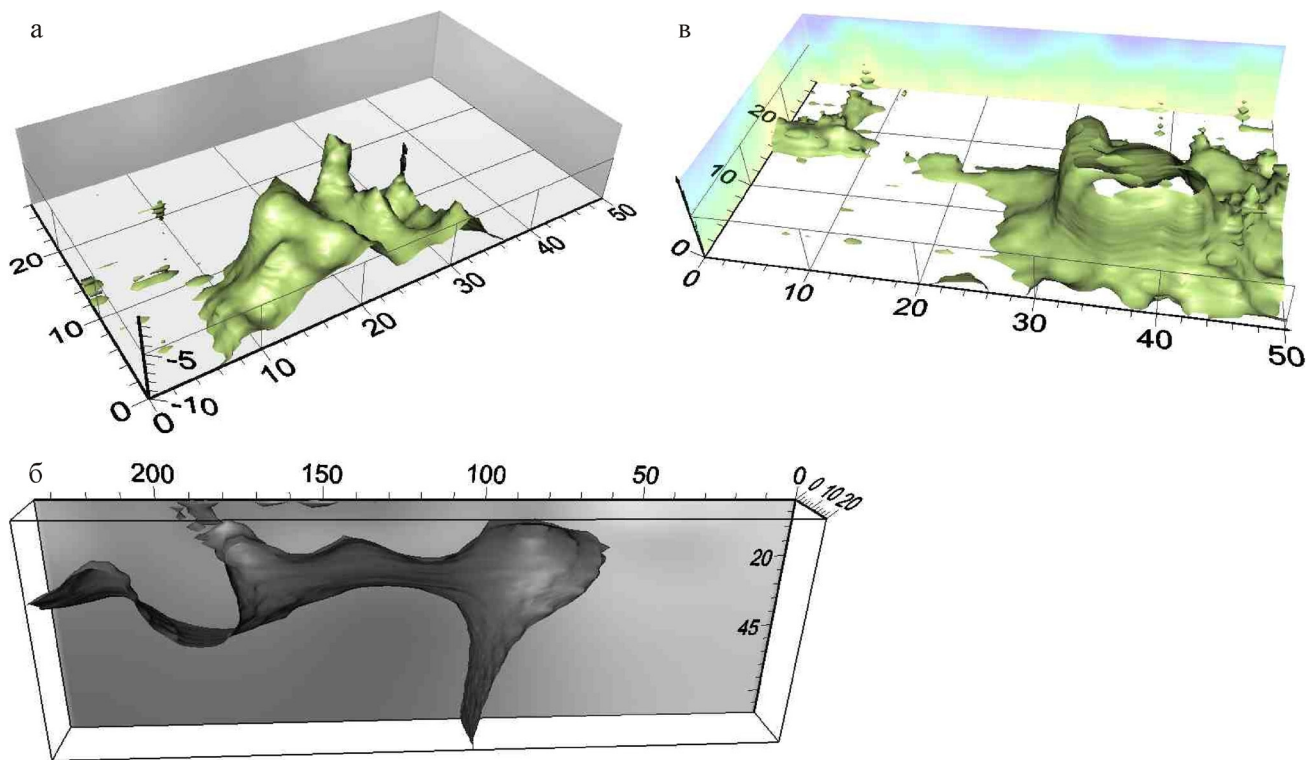


Рис. 5. Изоповерхности кажущегося сопротивления.

а-б – по данным ЧЗ: а – для Северо-Восточного поля, величина сопротивления 3.0 Ом·м; б – для Июльского поля, сопротивление 5.0 Ом·м; в – по данным электротомографии для Северо-Восточного поля, сопротивление 2.4 Ом·м (размеры в метрах).

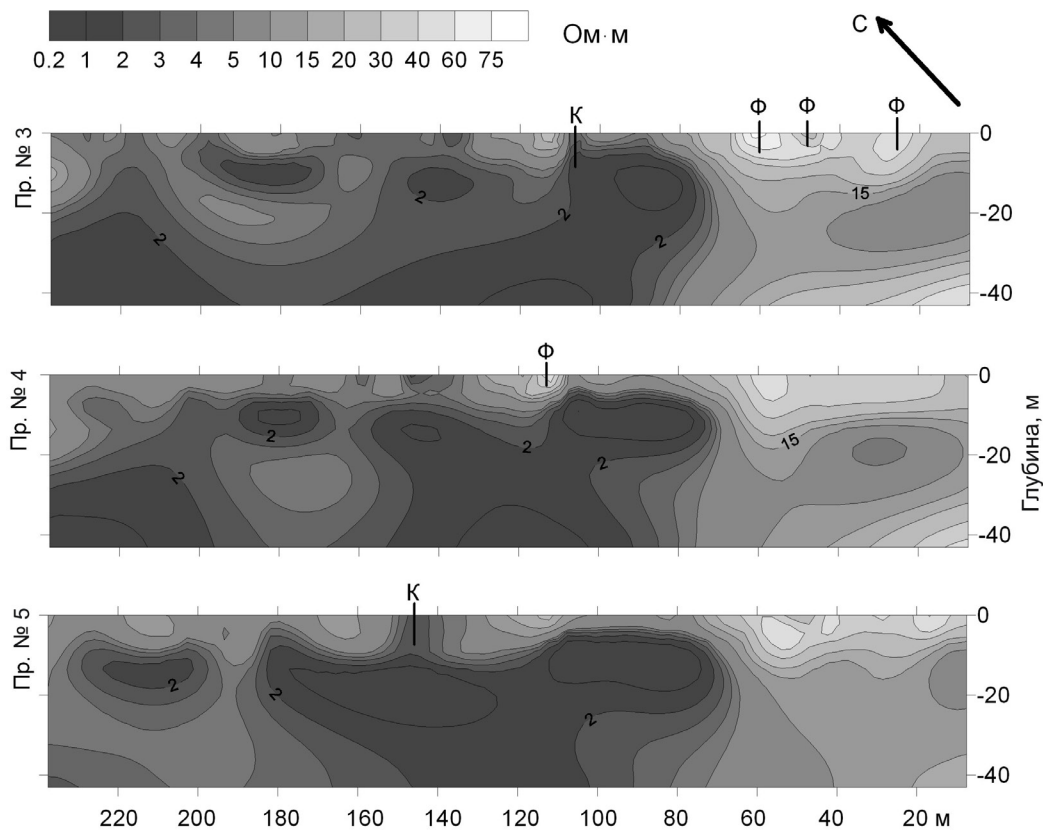


Рис. 6. Результаты инверсии электротомографии для профилей № 3–5.

Полевые исследования выполнены при поддержке межрегионального проекта СО РАН ДВО РАН № 96 и гранта РФФИ № РФФИ-09-05-011-38-а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоусов В.И., Рычагов С.Н., Сугробов В.М. Северо-Парамуширская гидротермально-магматическая система: геологическое строение, концептуальная модель, геотермальные ресурсы // Вулканология и сейсмология. 2002. № 1. С. 34–50.
2. Маништейн Ю.А., Бортникова С.Б., Маништейн А.К. и др. Особенности строения проводящих каналов термальных источников вулкана Мутновский (Южная Камчатка) // Докл. АН. 2008. Т. 423, № 3. С. 383–388.
3. Маништейн А.К., Панин Г.Л., Тикунов С.Ю. Аппаратура частотного электромагнитного зондирования “ЭМС” // Геология и геофизика. 2008. Т. 49, № 6. С. 571–579.
4. Панин Г.Л. Многоэлектродная аппаратура методов сопротивлений “Скала-48” // Инженерная и рудная геофизика: мат-лы конф. Геленджик: EAGE, 2009. С. 2.
5. Bernstone C., Dahlin T., Ohlsson T., Hogland W. DC-resistivity mapping of internal landfill structures: two pre-excitation surveys // Environmental Geology. 2000. V. 39, № 3-4. P. 360–368.
6. Caglar I., Demirorer M. Geothermal exploration using geoelectric methods in Kestanol, Turkey // Geothermic V. 28. 1999. P. 803–819.

Рецензент А.И. Мальшеев

Geophysical and geochemical investigations of thermal fields of Ebeco volcano (Paramushir Island)

G. L. Panin*, T. A. Kotenko, L. V. Kotenko**, U. G. Karin***

**Institute of Petroleum Gase Geology, Siberian Branch of RAS*

***Institute of Volcanology and Seismology, Far Eastern Branch of RAS*

The joint geophysical and geochemistry analysis of gas-geothermal objects of Ebeco volcano (Paramushir Island, Russia) are described in the paper. The aim of the work was to identify inlet channel structure of thermal pots and fumaroles in order to clarify matter relocation in near surface conditions and its impact on the hydrothermal chemistry. The used geophysical methods are electrical resistivity tomography and frequency domain investigations. The location of subsurface structure and space geometry of geothermal objects were evaluated by some methods. Results showed as set of 3D isosurfaces of resistivity showing inlet channel structure of hydrothermal areas. Electrical resistivity of host rocks was also received from data obtained from geophysical measurements. The results of resistivity tomography and frequency domain investigations were compared with geochemical analysis results.

Key words: resistivity soundings, geochemistry, volcanology, resistivity tomography, frequency soundings, hydrotherms.