

## О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ГЕОТЕРМАЛЬНОГО РЕЗЕРВУАРА АВАЧИНСКОГО ВУЛКАНА

В.А. Дроздин<sup>1</sup>, И.К. Дубровская<sup>1</sup>, А.В. Кирюхин<sup>1</sup>, Н.И. Кирюхина<sup>2</sup>, М.Ю. Пузанков<sup>1</sup>,  
С.Л. Сеньюков<sup>3</sup>, Е. В. Черных<sup>1</sup>

<sup>1</sup>-Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Пийпа-9, П-Камчатский

<sup>2</sup>- ГУП «Камчатскбургеотермия», Крашенинникова -1, п. Термальный, Камчатская обл.,

<sup>3</sup>- КОМСП ГС РАН, Пийпа-9, П-Камчатский

**Общая информация.** Вулкан Авачинский на Камчатке представляет потенциальную опасность для расположенного в 25 км города Петропавловска-Камчатского с населением 250 000 человек. Конус Авачинского вулкана возник 3500 лет тому назад и имел 15 извержений в историческое время (с 1737 г.), при этом средний расход вулкана оценивается в 150 кг/с [1]. Фоновое значение теплового потока для Корякско-Авачинской депрессии 62 мВт/м<sup>2</sup>. В трех скважинах - ГК-1 (глубина 1120 м), ГК-2 (глубина 755 м), ГК-2а (глубина 820 м), расположенных на расстоянии 20, 16 и 14 км от кратера вулкана Авачинский величина теплового потока изменяется в узком диапазоне: 57-70 мВт/м<sup>2</sup>. Также не отличается от фонового значения температура 74,5°C, измеренная на глубине 2850 м в скв. Елизовская-1, находящейся в 24 км от кратера вулкана. Последние эруптивные события на Авачинском вулкане выражены заполнением кратера глубиной до 200 м лавовым телом (объемом 6,5 млн. м<sup>3</sup>) с излиянием лавового потока на юго-восточный склон конуса в январе 1991 г и образование трещины в лавовой пробке в результате парогазового взрыва 5 октября 2001 г. Мощность извержения 1991 года (длительностью 6 суток), оцененного по выносу ювенильного нагретого материала, достигала 60000 кг/с.

**О связи геотермального резервуара и магматической питающей системы.** В межпароксизмальную стадию деятельности вулкана до извержения 13 января 1991 г. в кратере диаметром 400-450 м и на вершине молодого конуса естественные выходы тепла были представленными прогретыми участками, парящими площадками, фумаролами. На дне кратера температура пород в местах выходов вулканических газов превышала 700°C. Мощность тепловой разгрузки оценивалась в 80 МВт; наиболее крупными объектами тепловой разгрузки были фумарола Уступ, фумаролы Серного Гребня, Малая Серная, фумаролы на дне, фумаролы Восточные и участки парящего грунта в северо-восточной части Молодого конуса. Фумарола «Режимная» на юго-западной кромке кратера имела температуру 400-500°C и характеризовалась газосодержанием до 15% (SO<sub>2</sub> до 8%, до CO<sub>2</sub>

5%, H<sub>2</sub>S, HCl) [2,3]. Анализ событий с 1991 г., в части характера тепловой и сейсмической активности, позволяет уточнить геотермическую модель вулкана. Извержение 1991г. не было предсказано, ни в каких геофизических полях не были обнаружены предвестниковые аномалии. По данным инфракрасной аэросъёмки (выполнялась время от времени начиная с 1978 г.) в 1988г. (за три года до извержения) на дне кратера было зафиксировано возникновение новой термоаномалии, причем именно в том месте, в котором позднее и находился исток лавы. Что касается общей характеристики температурного поля, то прежде всего отмечается его стабильность. Структура распределения температур на внутренних и внешних склонах кратера до извержения 1991г. не менялась и соответствовала данным наземных измерений, выполненных в 1964 г. Не изменилась она и после извержения на тех участках, которые не были перекрыты лавой. Существенным является также тот факт, что активность фумарол (в частности наиболее мощной фумаролы Уступ) по данным облёта 14.01.91 сохранялась и в ходе извержения, когда кратер начал заполняться лавой. Эти наблюдения заставляют пересмотреть (уточнить) представления о природе термоаномалий на действующих вулканах. Ранее естественным положением считалось, что фумарольная деятельность характеризует активность вулкана в межпараксизмальную стадию. Именно на основе этого положения производятся сравнительные энергетические оценки в активную и межпараксизмальную стадию; осуществляются режимные наблюдения за температурой и химическим составом фумарол. Анализ данных по в. Авача позволяет полагать, что парогазовая и магматическая активность не связаны между собой. Парогазовая активность по-видимому в большинстве случаев имеет остаточную, инерционную природу.

В современной структуре термоаномалий в.Авача (в том числе и по данным инфракрасной съёмки 2005 г.) выделяются аномалии трех типов: соответствующие фумарольным выходам (наиболее интенсивные), радиальным и концентрическим трещинам на лавовом поле и типа «парящий грунт» на внутренних и внешних склонах кратера. Контуры последних полностью соответствуют контурам этих аномалий до извержения 1991г. Какого-либо пропаривания лавовым телом пород кратера не наблюдается. По линии контакта лавы с внутренней стенкой кратера термоаномалии существуют там же, где они были до извержения. Можно говорить лишь об усилении интенсивности выноса тепла (и серы) в западной части именно в районе бывшей термальной площадки, примыкавшей к фумароле Уступ. Поверхность лавового поля в основном холодная, хотя, естественно, температура её выше фоновой для данной высоты. Повышенная температура в радиальных и концентрических глубоких трещинах лавового поля свидетельствует о выделении тепла при остывании лавового тела. Характерно, что вынос тепла не сопровождается паром, как на парящих грунтах; трещины сухие. Трещина 2001г. на инфракрасном снимке отображается

как холодная. Распределение фумарольных выходов изменилось. Основные фумаролы были перекрыты лавой. В последнее время (после 2001 г) появилась термоаномалия, которая проектируется на место бывшей режимной фумаролы «Серного гребня». «Новая» фумарола «Режимная» на юго-западной кромке кратера понизила температуру 300-400°C и понизила газосодержание до 10% (SO<sub>2</sub> до 5%, до CO<sub>2</sub> 1%, H<sub>2</sub>S, HCl) [4]. Вместо фумарол Уступ и Восточные действуют фумаролы Западная и группа Восточные. Последняя проектируются непосредственно на места выхода бывшей фумаролы. Их расположение именно вблизи кромки старого кратера указывает на то, что они скорее унаследованы, чем образованы вновь.. Таким образом на основе анализа структуры и динамики тепловой разгрузки в Авача можно полагать, что она в основном (за исключением теплоотдачи с поверхности лавового плато) определяется той же конвекционной системой, которая существовала в конусе вулкана до извержения 1991 г.

**Вулканические бомбы выброшенные из геотермального резервуара во время извержения Авачинского вулкана 2001г.** В кратере Авачинского вулкана [5] в августе 2004г. на удалении от выходов действующих фумарол были отобраны образцы из блоковых вулканических бомб, выброшенных фреатическим взрывом 5.10.2001г. Отличительные особенности сложения «блоковых» андезибазальтов позволяют предположить, что эти блоки были выброшены на поверхность из нижней части лавовой пробки и/или отделены от верхней части подводящего к ней тела. Ранее, такое предположение, на основании измерений размеров блоков, для оценки скорости и объема выброшенных газов, было высказано [6]. Заполнение полостей породы кристобалитом, при участии альбита, наблюдается только для «блоковых» андезибазальтов. Кристобалит – обычный минерал, заполняющий пустоты в молодых кислых эффузивах, но не свойственен относительно свежим средним породам, слагающим внешние склоны позднеголоценового Молодого конуса Авачинского вулкана. Т.е. условия, благоприятные для его образования в пустотах возникают лишь в его внутренних частях, недрах постройки вулкана. Происхождение этого минерала-заполнителя, ассоциирующего с натровым полевым шпатом, не может быть объяснено сольфатарным воздействием, которое неизбежно существенно затронуло бы основную массу изменяемой породы. Петрографическое сравнение с лавами, вмещающими фумарольные поля, показывает, что вкрапленники, микролиты и стекло основной массы изученных андезибазальтов не несут выраженных следов сольфатарных изменений: нет характерной ассоциации вторичных минералов. Поэтому предполагается возможной причиной присутствия в пустотах - миндалинках породы данных новообразованных минералов наличие скрытой гидротермальной системы, в недрах Авачинского вулкана, кристаллизацией минералов-заполнителей из минерализованных растворов флюида.

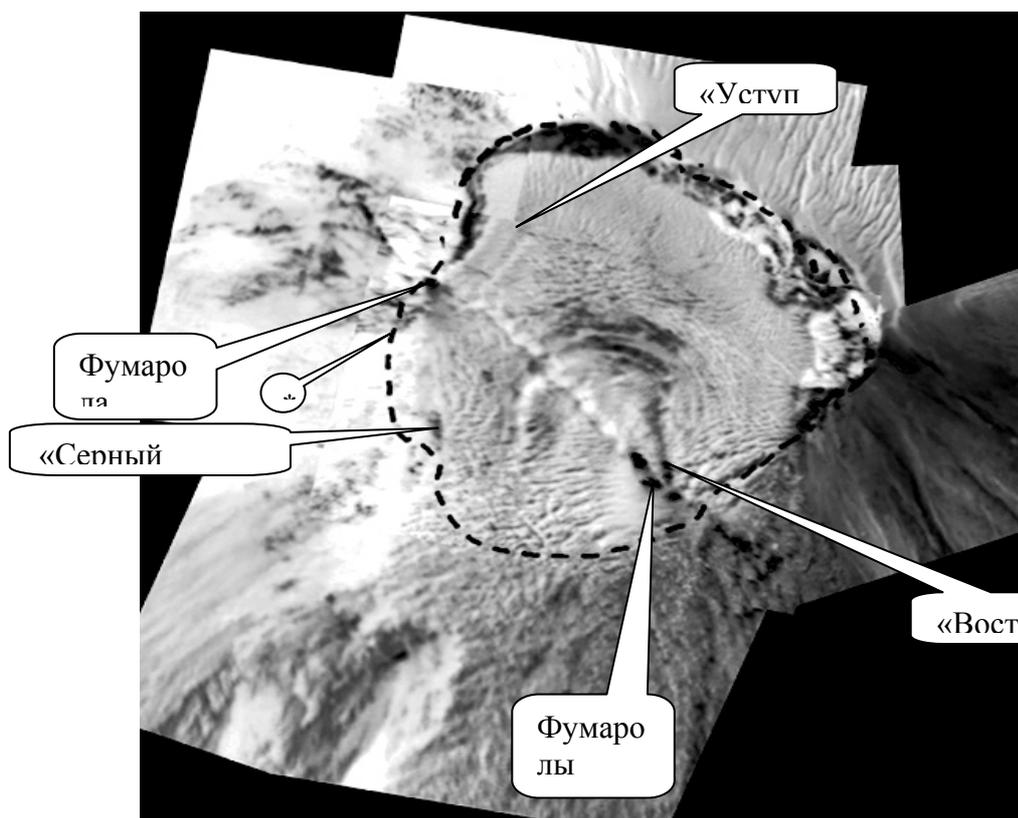


Рис.1.  
Структура  
ИК-  
излучения  
поверхности  
вулкана  
Авача  
24.03.2004.  
Пунктиром  
отмечена  
кромка  
старого  
кратера

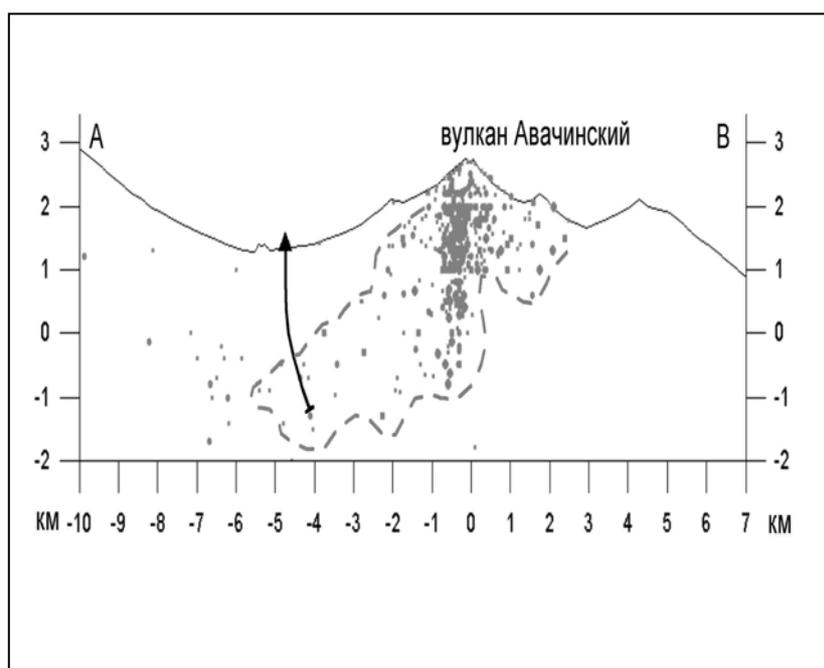


Рис.2 Контур геотермального резервуара в вертикальном разрезе под вулканом Авачинский: кружками изображены гипоцентры землетрясений, синхронизированных с извержением 2001 г и подготовкой извержения 2006 г. (регистрация 4-мя сейсмическими станциями КОМСП ГС РАН), показана возможная проекция скважины

решающей задачу вскрытия продуктивного резервуара.

**Форма геотермального резервуара по сейсмическим данным.** Извержение в октябре 2001 г было показательным по сопутствующим ему землетрясениям, распределение гипоцентров которых позволяет «увидеть» активный геотермальный резервуар, расположенный под перекрывающей кратер лавовой пробкой 1991 года. Распределение гипоцентров землетрясений в Конусе Авачинского вулкана в вертикальных разрезах и в плане позволяет оценить геометрическую форму активного геотермального резервуара. При

построениях использованы данные из каталогов землетрясений представленных КОМСП ГС РАН (<http://data.emsd.iks.ru/regquake>). Рис.2 показывает, что землетрясения, зарегистрированные в период извержения вулкана в октябре 2001 г сосредоточены в верхней части конуса в радиусе около 1 км до поверхности фундамента мелового возраста. Ниже отметки –1000 м абс. координаты землетрясений смещаются в северо-западном направлении в зону между вулканами Корякский и Авачинский. Аналогичное распределение отмечается для гипоцентров землетрясений 2005 г.

**Оценка эффективности Авачинского геотермального проекта.** Для оценки экономической эффективности геотермального проекта бурения двух скважин глубиной 2.5 км с целью получения теплоносителя с суммарным расходом пара не менее 10 кг/с при 0.6 МПа, строительства и эксплуатации ГеоЭС с установленной мощностью 5 МВт были использованы следующие параметры: (1) Капитальные затраты: 75 млн. руб. (бурение двух скважин, 1 год), 210 млн. руб. (строительство ГеоЭС 5 МВт, 2-ой год реализации проекта), (2) Кредит: общая сумма кредита составляет 293 млн. руб. под 6% годовых сроком возврата от года до 4 лет при сроке выполнения проекта 5 лет, (3) Цена отпускаемой электроэнергии 5 руб/ квт-час. В результате проведенного анализа реализации проекта оценка величины чистой прибыли составит 432 млн. руб. за пять лет (для оценок использована программа «Финансовое планирование и бюджетирование 4.00 TOP Консультант ЦМБиРР АНХ при Правительстве РФ») - при условии востребованности электроэнергии потребителями, оказывающими услуги по туризму и горнолыжному туризму.

### **Литература:**

1. Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Двигало В.Н., Базанова Л.И. Исторические извержения Авачинского вулкана на Камчатке, Вулканоология и сейсмология, №2, 1994. С.3-24.
2. Taran Y.A., Connor C.B., Shapar V.N. et al. Fumarolic activity of Avachinsky and Koryaksky volcanoes, Kamchatka, from 1993 to 1994// Bull. Volc. 1977, #5, p.441-448.
3. Серафимова Е.К., Овсянников А.А., Муравьев Я.Д. Вулканические эксгаляции вулкана Авачинский в постэруптивном процессе после извержения 1991 г. Вулканоология и сейсмология №4, 2002, с. 22-30.
4. Зеленский М.Е., личн. сообщ. 2003
5. A.V.Kiryukhin, I.K.Dubrovskaya, N.I. Kiryukhina. Modeling study of the Avachinsky volcano cone hydrothermal eruption conditions. Abstracts Week A, XXIII General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics, Sapporo, Japan, June 30,- July 11, 2003, 564 p.
- 6 А.Б. Белоусов, личн. сообщ. 2003