

# Динамика теплового поля в контурах аномалии в верховье долины р. Геналдон по данным наземных термодатчиков

А.Г. Гурбанов<sup>1</sup>, В.М. Газеев<sup>2</sup>, А.Б. Лексин<sup>3</sup>, А.Я. Докучаев<sup>4</sup>, Л.Е. Цуканова<sup>5</sup>

## ВВЕДЕНИЕ

Положительные тепловые аномалии в районе Казбекского вулканического центра (КВЦ), выявленные по данным дистанционного теплового зондирования с системы спутников NOAA [5], в сочетании с результатами геофизических исследований [4; 1], свидетельствуют о связи этих аномалий с расположенными под ними приповерхностными магматическими камерами с расплавом. Эти данные, вместе с радиоуглеродной датировкой одного из молодых лавовых потоков вулкана Казбек – ~ 6 000 <sup>14</sup>C лет назад [2], позволяют относить его к категории активных, но «спящих» в настоящее время вулканов, для которых в будущем не исключена возможность извержения. При этом анализ истории развития Казбека позволяет предполагать, что возможное извержение будет иметь, скорее всего, взрывной характер с соответствующими катастрофическими событиями: выбросом пеплов в атмосферу и их переносом по воздуху на десятки и сотни километров, сходом каменно-ледовых лавин, лахаров и огромных объемов воды по долинам рек Терек, Геналдон, образовавшихся при быстром таянии ледников в результате их взаимодействия с расплавом.

Выявленные тепловые аномалии, возможно, образовавшиеся над приповерхностными магматическими камерами, было необходимо заверить геофизическими (гравиметрия и аудиомангнитотеллурическое зондиро-

вание) методами и расшифровать динамику их тепловых полей надежными наземными методами, например с помощью автоматических термодатчиков. Однако, в связи с тем, что примерно 85 % тепловых аномалий расположено на терри-

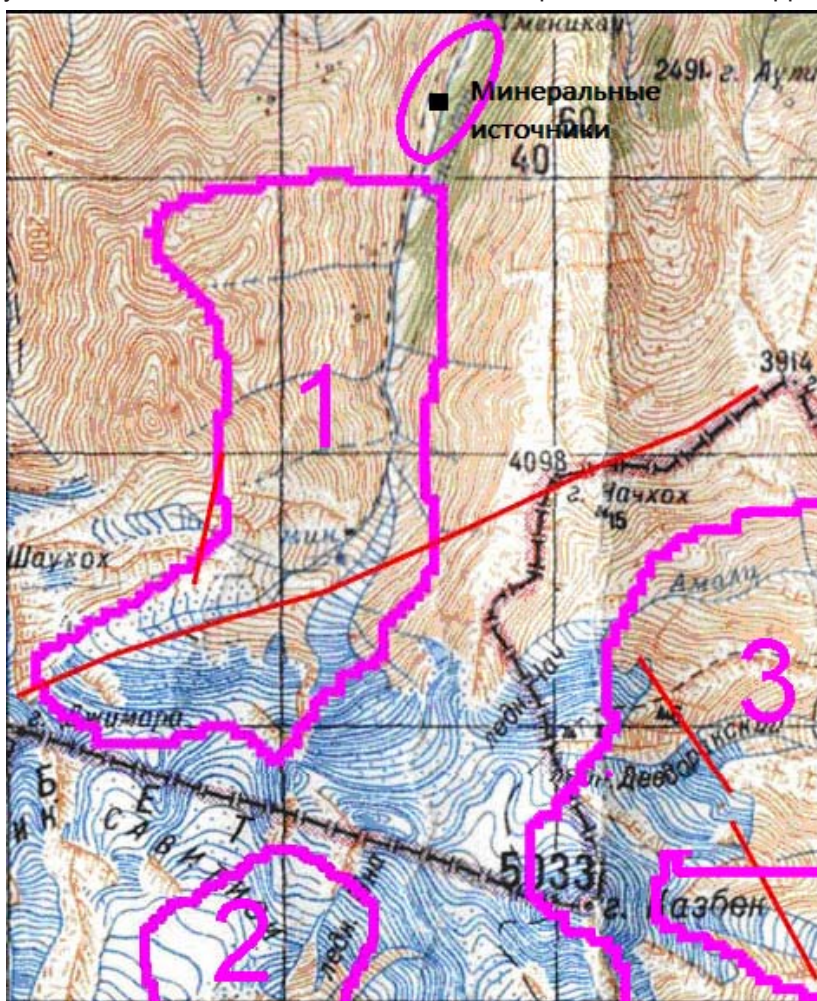


Рис. 1. Устойчивые за 1990–2010 гг. тепловые аномалии в верховьях (к югу от сел. Тменикау, Кони) и в истоках (г. Джимара, ледники Майли, Колка, «Верхнекармадонские» термальные минеральные источники) р. Геналдон

<sup>1</sup> Гурбанов А.Г. – к. г.-м. н., в. н. с. ИГЕМ РАН.

<sup>2</sup> Газеев В.М. – к. г.-м. н., н. с. ИГЕМ РАН.

<sup>3</sup> Лексин А.Б. – н. с. ИГЕМ РАН.

<sup>4</sup> Докучаев А.Я. – к. г.-м. н. ИГЕМ РАН.

<sup>5</sup> Цуканова Л.Е. – н. с. Южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону.



Рис. 2. Схема расположения точек наблюдения (термодатчиков)

тории Грузии, куда мы не имели доступа, на этом этапе (2011 г.) было решено начать исследование динамики теплового поля в контуре небольшой, вытянутой в меридиональном направлении, устойчивой за 1990–2010 гг. положительной аномалии (рис. 1), расположенной в долине р. Геналдон на отрезке в 1,0 км южнее «Нижних Кармадонских» термальных источников (на юге) и почти до пос. Тменикау, Кони (на севере).

В пределах этой аномалии, за период 2003–2010 гг., по данным дистанционного теплового зондирования, периодически наблюдались значительные колебания радиационной температуры (РТ) земной поверхности, при тенденции ее общего увеличения во времени. При этом в контурах этой аномалии выявлены более мелкие аномальные участки, периодически меняющие свои размеры и интенсивность (значения РТ).

Такие колебания РТ в их контурах подтверждаются проведенными нами инструментальными измерениями колебаний температуры воды (на 4–10° С) в «Нижнекармадонских» термальных источниках в период за августы месяцы с 2004 по 2011 гг. включительно.

#### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для изучения динамики теплового поля этой аномалии, в ее контуре, вдоль левого борта долины, на первой надпойменной террасе, было установлено шесть термодатчиков, которые ежедневно записывали все колебания температур с 09.08.2011 по 24.08.2011 г., т. е. этим была заложена основа мониторинга динамики теплового поля, пока только в этой долине. При наличии соответствующего финансирования возможно

Таблица 1

Результаты измерений вариаций температуры термодатчиками

№ точки	№ датчика	Широта	Долгота	Высота в м.	Установка	Снятие
1/11	7	42°50'29,3"	44°30'49,9"	1386	09.08.2011	24.08.2011 11:40
2/11	9	42°49'57,3"	44°30'27"	1406	09.08.2011	24.08.2011 11:55
3/11	10	42°49'04,3"	44°29'53,9"	1462	09.08.2011	24.08.2011 12:10
4/11	14	42°48'46,5"	44°29'47,6"	1529	09.08.2011	24.08.2011 13:43
5/11	15	42°48'39,4"	44°29'47,1"	1463	09.08.2011	24.08.2011 12:30
6/11	16	42°48'18,3"	44°29'32,4"	1596	09.08.2011	24.08.2011 13:10

продолжение этого мониторинга в течение ближайших 8–10 лет с включением и других тепловых аномалий в этом районе. Результаты первой эпохи измерений (август 2011 г.) и их интерпретация приводятся ниже.

Под бывшим ледником Колка, по данным теплового дистанционного зондирования [3; 5], результатам гравиметрического [4] зондирования была выявлена приповерхностная магматическая камера – кровля на глубине 1–2 км, а подошва – не более 5–7 км ниже уровня моря. Поэтому возникла идея изучения динамики не только ее теплового поля, но и расположенной к северу от нее, в долине р. Геналдон, относительно маленькой и легкодоступной тепловой аномалии удлиненной формы (рис. 1).

С этой целью с 09.08 по 24.08.2011 г. в долине р. Геналдон по меридиональному профилю было установлено 6 термодатчиков. Они помещались в шурфы глубиной 0,9–1,0 м, засыпались землей. Датчики начинали фиксировать эндогенную температуру (с точностью до 0,0010 С) через 15–17 часов, необходимых для выхода датчиков в стабильный режим измерений. Координаты и высотная отметка места установки каждого датчика фиксировались с помощью GPS-приемника (рис. 2). Термодатчики регистрировали температуру круглосуточно через каждый час.

### ОБСУЖДЕНИЕ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ПОЛУЧЕННЫХ В РЕЗУЛЬТАТЕ ТЕРМОМОНИТОРИНГА 2011 г. ДАННЫХ

Для решения задачи, поставленной перед термомониторингом, ниже приведена характеристика мест установки каждого термодатчика в контуре удлиненной устойчивой аномалии и анализ измеренных ими температур (рис. 3–8).

**Термодатчик № 7** установлен 09.08 в 10:36, снят 24.08 в 11:50 (точка наблюдения №1/11 на рис. 2, координаты с. ш. 42°50'29,3"; в. д. 44°30'49,9", высота – 1386 м) в 1 км к северу от южного края маленького аномального (по РТ температуре) участка, находящегося в северном окончании удлиненной тепловой аномалии в долине р. Геналдон. Точка расположена у развилки дорог, веду-

щих от пос. Кони в сторону Верхней Санибы и к «Нижним» Кармадонским термальным минеральным источникам. После выхода термодатчика в рабочий режим измерений (с 22:00 09.08 до 17:00 10.08) он фиксировал эндогенную температуру, в контуре аномалии, порядка 18,861–19,862° С. Затем температура очень плавно стала возрастать и достигла пика 23,0525° С в период с 22:00 15.08.2011 до 01:00 16.08.2011 г. После этого произошло плавное снижение температуры до 20,4252° С в период с 12:00 до 14:00 18.08.2011. Затем температура стала плавно увеличиваться до 22,6147° С в период с 21:00 19.08 до 01:00 20.08.2011, после чего наблюдалось ее плавное снижение до 20,9258° С в период с 12:00 до 14:00 22.08.2011, а затем плавное увеличение до 22,302° С в период с 22:00 22.08 до 01:00 23.08.2011, потом произошло резкое снижение температуры до 19,6742° С в 11:00 24.08.2011 (рис. 3).

**Термодатчик № 9** установлен 09.08 в 10:50, снят 24.08 в 11:55 (точка наблюдения № 2/11 на рис. 2, координаты с. ш. 42°49'57,3"; в. д. 44°30'27"; высота – 1406 м) на южном крае маленького аномального участка в 1 км к югу от точки наблюдения № 1/11. После выхода термодатчика в рабочий режим измерений (с 22:00 09.08 до 16:00 10.08) он фиксировал практически постоянную эндогенную температуру в контуре аномалии порядка 17,4587–17,0204° С. После чего происходило плавное повышение температуры, которая достигла максимума 19,4618° С в период с 1:00 до 4:00 16.08.2011 г. Затем температура стала медленно снижаться до 17,9596° С в 14–15:00 19.08.2011, а затем медленно подниматься до 18,6482° С с 0:00 до 5:00 20.08.2011 г., после чего она плавно снижалась до 16,7073° С в 11:00 24.08.2011 г. (рис. 4)

**Термодатчик № 10** установлен 09.08 в 11:30, снят 24.08 в 12:10 (точка наблюдения № 3/11 на рис. 2, координаты с. ш. 42°49'04,3"; в. д. 44°29'53,9"; высота – 1462 м) в контуре очень маленького эллипсоидной формы аномального участка (700 × 400 м) в 10 м южнее теплового малобитного минерального источника. Этот участок является составной частью удлиненной аномалии. Эту

точку мы условно отнесли к фоновой. После выхода термодатчика в рабочий режим измерений (с 22:00 09.08 до 18:00 10.08) он фиксировал практически постоянную (порядка 17,6241–16,8722° С) эндогенную температуру в пределах участка. Затем произошло плавное повышение температуры, которая достигла максимума 18,3131° С в период с 2:00 до 5:00 16.08.2011 г., после чего она стала медленно снижаться до 17,1229° С в 15–16:00 18.08.2011, а затем медленно подниматься до 18,1252° С с 0:00 до 4:00 20.08.2011 г., после чего температура плавно снижалась до 16,8722° С в 12:00 24.08.2011 г. (рис. 5).

**Термодатчик № 14** установлен 09.08 в 12:50, снят 24.08 в 13:43 (точка наблюдения № 4/11 на рис. 2, координаты с. ш. 42°48'46,5"; в. д. 44°29'47,6"; высота – 1529 м). Установлен в 10 м от буровой скважины, по которой горячая вода подается в

«дикие» ванны. После выхода термодатчика в рабочий режим измерений (с 22:00 09.08 до 0:00 10.08) он фиксировал практически постоянную эндогенную температуру в контуре аномалии порядка 26,218° С. Затем произошло плавное повышение температуры до 28,218° С в период с 22:00 15.08 до 2:00 16.08.2011 г., после чего она стала медленно снижаться до 26,5937° С в 11:00–14:00 18.08.2011, а затем медленно поднималась до 27,5309° С с 21:00 до 23:00 19.08.2011, после чего температура была практически постоянной (вариации от 27,4684° С до 26,8436° С в 11:00 23.08.2011, затем плавное снижение до 25,9063° С в 13:00 24.08.2011 г.) (рис. 6).

**Термодатчик № 15** установлен 09.08 в 13:50, снят 24.08 в 12:50 (точка наблюдения № 5/11 на рис. 2, координаты с. ш. 42°48'39,4"; в. д. 44°29'47,1"; высота – 1463 м) в 500 м от южного края удли-

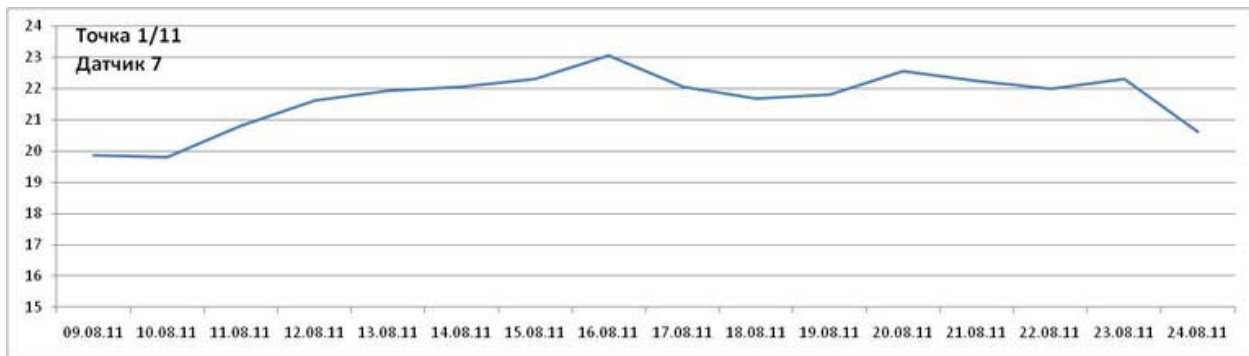


Рис. 3. График измерения температуры термодатчиком № 7

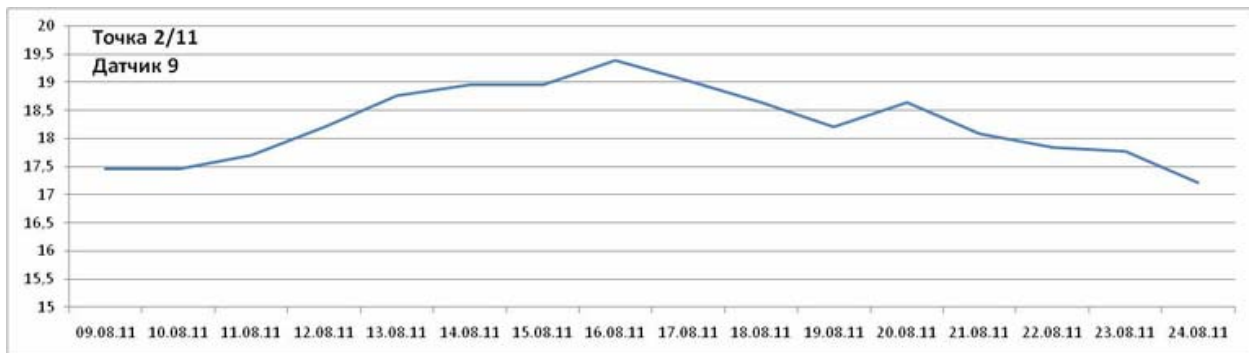


Рис. 4. График измерения температуры термодатчиком № 9

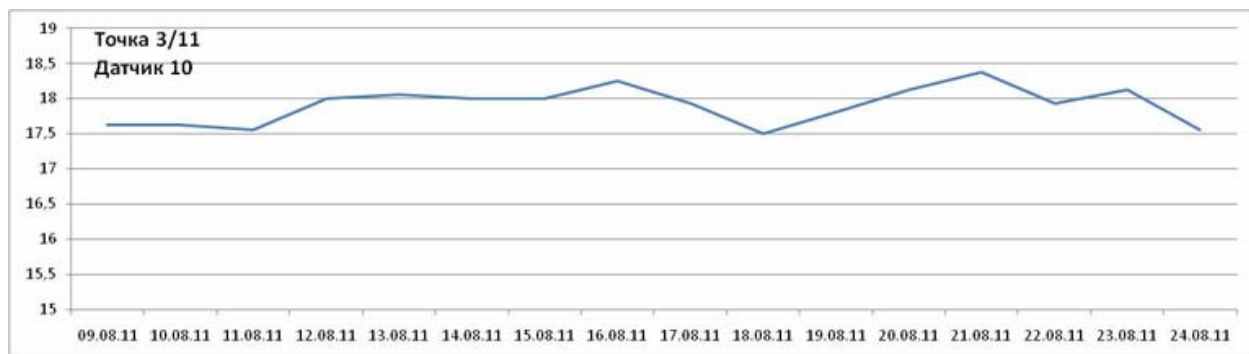


Рис. 5. График измерения температуры термодатчиком № 10

ненной тепловой аномалии. После выхода термодатчика в рабочий режим измерений (стабильная эндогенная температура  $29,8172^{\circ}\text{C}$  с 22:00 09.08 и до 0:00 10.08), с 01:00 10.2011 началось плавное и медленное повышение температуры до максимальной  $31,1276^{\circ}\text{C}$  в период с 01:00 по 06:00 16.08.2011, затем с 07:00 она стала медленно снижаться до  $27,2572^{\circ}\text{C}$  в 06:00 17.08.2011, после чего она вновь медленно поднималась до  $30,6909^{\circ}\text{C}$  с 01:00–04:00 20.08.2011 и опять стала плавно и медленно снижаться до  $30,1292^{\circ}\text{C}$  в период с 10:00 до 12:00 24.08. 2011 (рис. 7).

Термодатчик № 16 установлен 09.08 в 13:50, снят 24.08 в 13:40 (точка наблюдения № 6/11 на рис. 2, координаты с. ш.  $42^{\circ}48'18,3''$ ; в. д.  $44^{\circ}29'32,4''$ ; высота – 1596 м) южнее контура положительной удлиненной тепловой аномалии и не доходя 0,5 км до северной границы тепловой аномалии под «бывшим» ледником Колка, т. е. эта точка наблю-

дения является фоновой, что подтверждается измеренными температурами, варьирующими от  $17,5274$  до  $14,5812^{\circ}\text{C}$ , что на  $9\text{--}17^{\circ}\text{C}$  ниже температур, измеренных в контуре тепловой аномалии удлиненной формы. После выхода термодатчика в рабочий режим измерений (с 22:00 09.08 до 0:00 10.08) он фиксировал медленное снижение эндогенной температуры от  $16,3367^{\circ}\text{C}$  с 01:00 10.08.2011 г. до  $15,0829^{\circ}\text{C}$  в 14:00–15:00 11.08.2011 г. Затем началось плавное повышение температуры до  $17,0261^{\circ}\text{C}$  с 0:00 до 03:00 15.08.2011 г., после чего она быстро возросла до  $17,5274^{\circ}\text{C}$  в 01–02:00 16.08.2011 г. Затем последовал ее относительно быстрый спад до  $15,5845^{\circ}\text{C}$  в 14:00 18.08. После этого спада вновь зафиксирован слабый и плавный ее подъем до  $16,6501^{\circ}\text{C}$  в 01–02:00 23.08.2011 г., а затем последовал ее резкий спад до  $14,5812^{\circ}\text{C}$  в 13:00 24.08.2011 г. (рис. 8).

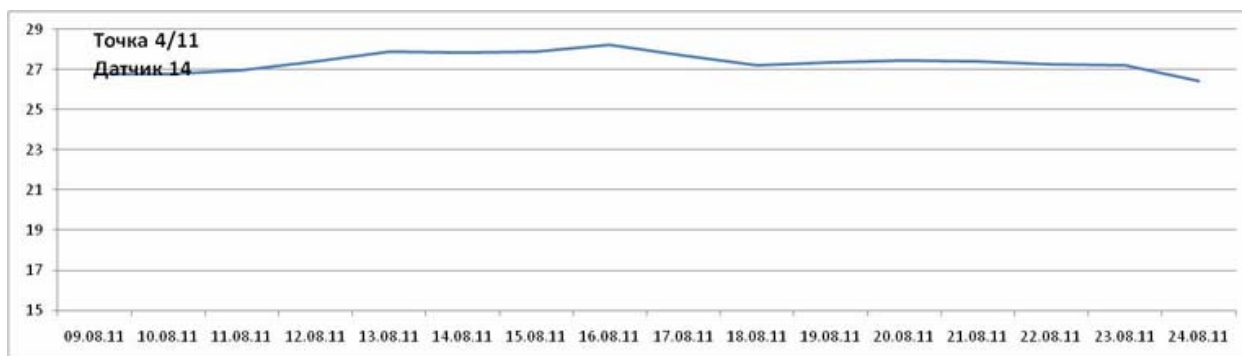


Рис. 6. График измерения температуры термодатчиком № 14

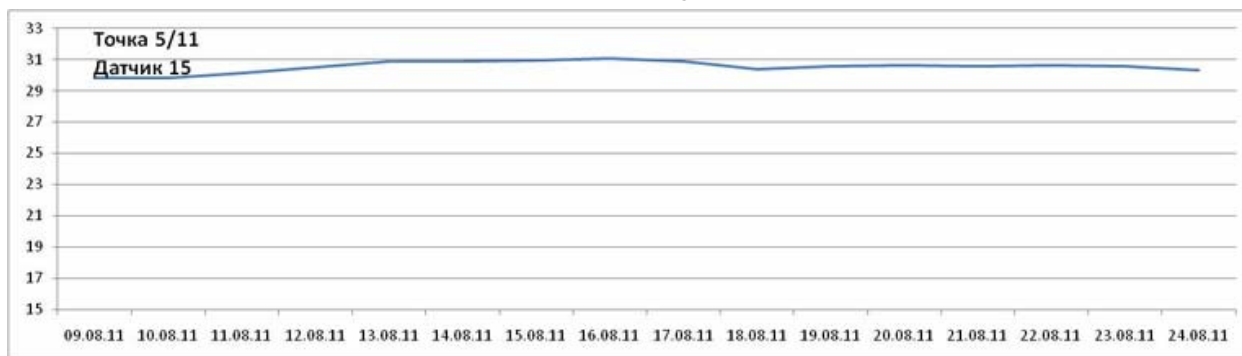


Рис. 7. График измерения температуры термодатчиком № 15

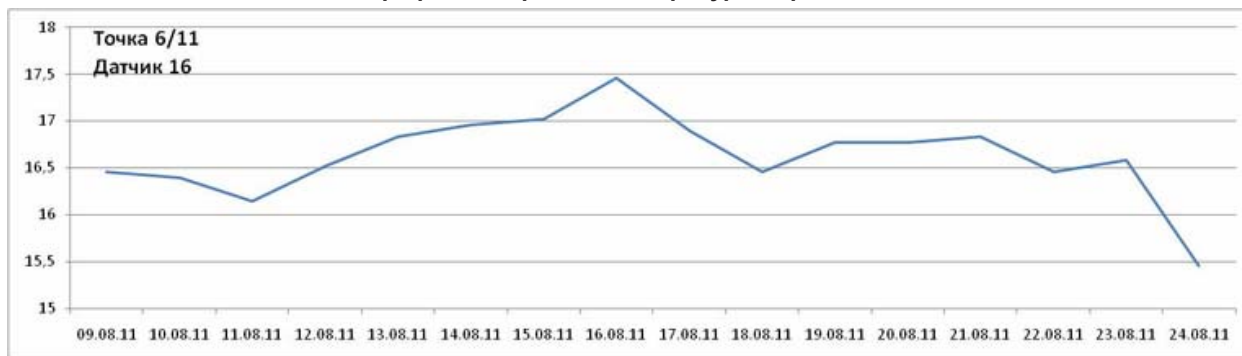


Рис. 8. График измерения температуры термодатчиком № 16

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

При анализе колебаний температур (по данным термодатчиков, *рис. 3–8*) выявлены закономерные особенности динамики теплового поля. Дистанционным тепловым зондированием в контуре удлиненной аномалии установлены разобщенные, но устойчивые (за последние 20 лет), мелкие по размерам, аномальные участки. Выявленные закономерности динамики теплового поля заключаются в следующем:

1. Фоновая температура (термодатчик № 16) колебалась в пределах от 17,5274 до 14,5812° С (разница в перепаде температур составила 2,9462° С), а по данным термодатчика № 10 (он условно может быть отнесен к фоновым) температура колебалась в пределах от 18,3757 до 16,8722° С (разница в перепаде температур составила 1,5035° С).

2. Установлены вариации колебаний температур в контуре еще одного аномального участка (термодатчики № 14 и 15), в пределах которого расположены «Нижние» Кармадонские термальные источники, две скважины и «дикие» ванны. Колебания температур здесь происходили в пределах от 28,218 до 25,9063° С (разница в перепаде температур составила 2,3117° С) и от 31,1276 до 27,2572° С (разница в перепаде температур составила 3,8704° С).

3. Выявлено резко гетерогенное строение теплового поля удлиненной формы аномалии, расположенной вдоль долины р. Геналдон от сел. Тменикау, Кони на севере и в 0,5 км севернее тепловой аномалии, выявленной под ледником Колка [5].

4. Установлено, что в контуре рассмотренной выше положительной тепловой аномалии, с севера на юг (термодатчики №№ 7, 9 и 14, 15) измеренная температура, соответственно, на 4,67–6,18° С и 10,68–13,63° С выше чем на прилегающих к ним фоновых территориях.

5. Анализ графиков с динамикой температур (*рис. 3–8*) в контурах тепловой аномалии удлиненной формы показал, что пики максимальных значений температур (термодатчики №№ 7, 9 и 14, 15) появлялись практически одновременно: 15–16.08.2011 – с 21:00 до 02:00; 19–20.08.2011 – с 21:00 до 02–04:00 и 22–23.08.2011 – с 21:00 до 02–06:00. Минимальные значения температур, зафиксированные этими термодатчиками, появились также близко одновременно.

### ВЫВОДЫ

1. Практически одновременное появление пиков максимальных значений температур (показания термодатчиков №№ 7, 9, 14, 15) в кон-

туре теплового поля удлиненной аномалии в долине р. Геналдон можно объяснить динамикой эндогенных процессов. Например, поступлением в приповерхностную магматическую камеру новых и небольших по объему порций магматического расплава, обусловившего появление тепловых аномалий на поверхности. Это может свидетельствовать о нарастании вулканической опасности в данном районе.

2. Учитывая величину геотермического градиента, рассчитанную для неовулканических и неинтрузивных районов Кавказа [8] порядка 44–46° С/км, и максимальную эндогенную температуру на земной поверхности (22–23° С и 30–31° С), в контуре удлиненной тепловой аномалии в долине р. Геналдон, связанной по геофизическим данным с приповерхностной магматической камерой [3, 4, 5], расположенной (кровля на глубине ~ 1–2 км, подошва – не более 5–7 км) ниже уровня моря, и значительным плотностным контрастом (до 0,5 г/см<sup>3</sup>), можно допустить, что на глубине ~ 2,5–3 км от земной поверхности температура пород должна достичь 270–300° С. В этом случае вполне реально использование эндогенного тепла для строительства экологически чистой геотермической электростанции (ГЕОТЭС) и теплоснабжения поселков Тменикау, Кони и Пограничного отряда. Такие расчеты были сделаны для вулканов Авачинский на Камчатке [7] и Эльбрус [6] на Кавказе. Для оценки возможности использования этого эндогенного тепла и реализации такого проекта в контурах удлиненной тепловой аномалии надо пробурить 2 скважины глубиной до 2–2,5 км. Если в скважинах будет установлена необходимая для строительства ГЕОТЭС температура, то в забоях скважин делаются микровзрывы для образования необходимых объемов сильно трещиноватых пород. Затем рядом с этими скважинами бурятся в образованную зону трещиноватых пород еще 2–3 скважины с обсадными трубами на ту же глубину, что и первые 2 скважины. По первым двум скважинам будет закачиваться отфильтрованная от песка вода из р. Геналдон, а на устьях 2–3 новых скважин она будет выходить в виде перегретого пара и горячей воды, через генераторы, преобразующие тепловую энергию в электрическую. Пар и горячую воду из этих скважин, после выработки электроэнергии, можно будет использовать для обогрева домов пос. Кони, Тменикау, зданий санатория и Пограничного отряда, а также и парников. Отработанная, но еще теплая вода будет возвращаться по системе закольцованных (замкнутых) трубопроводов в скважины, нагреваться на глубине и снова повторять замкнутый цикл. Выработанной электроэнергии хватит для потребностей поселков Кони, Тмени-

кау, Даргавс, Фиагдон, санатория и пограничных отрядов.

Положительные примеры использования такого эндогенного тепла с обогревом небольших

городов и выработкой электроэнергии уже давно имеются: в г. Лос-Аламос (США), на Мутновской ТЭС (Россия, Камчатка), в Новой Зеландии и др.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Республики Северная Осетия-Алания; Программы 4 Президиума РАН Направления 2, Проекта 2, Раздела «Кавказско-Анатолийско-Иранско-Левантский сегмент» и Направления 3, Проекта 3.5 подпроекта «Современные изменения природной среды Северного Кавказа».*

*Авторы статьи искренне признательны председателю ВНЦ РАН и Правительства РСО-А А.Г. Кусраеву за постоянные внимание и поддержку.*

## ЛИТЕРАТУРА

- 1. Арбузкин В.Н., Фельдман И.С., Трофименко Е. А.** Результаты первого этапа электроразведочных работ АМТЗ и МТЗ в Геналдонском ущелье // Вестник Владикавказского науч. центра РАН и Правительства РСО-А. 2004. Т. 4. № 3. С. 12–24.
- 2. Бурчуладзе А.А., Джанелидзе Ч.Г., Тогонидзе Г.И.** Применение радиоуглеродного метода для решения некоторых вопросов палеогеографии плейстоцена и голоцена Грузии // Актуальные вопросы современной геохронологии. – М.: Наука. 1976. С. 238–243.
- 3. Гурбанов А.Г., Кусраев А.Г., Чельдиев А.Х.** Первые результаты исследования эндогенных процессов в Геналдонском и прилегающих ущельях // Вестник Владикавказского науч. центра РАН и Правительства РСО-А. 2004. Т. 4. № 3. С. 2–8.
- 4. Копаев А.В., Гурбанов А.Г.** Гравиметрические исследования в Геналдонском ущелье: первые результаты // Вестник Владикавказского науч. центра РАН и Правительства РСО-А. 2004. Т. 4. № 3. С. 9–11.
- 5. Корниенко С.Г., Ляшенко О.В., Гурбанов А.Г.** Выявление признаков очагового магматизма в пределах Казбекского вулканического центра по данным тепловой космической съемки // Вестник Владикавказского науч. центра РАН и Правительства РСО-А. 2004. Т. 4. № 3. С. 25–32.
- 6. Уткин И.С., Федотов С.А., Уткина Л.И.** Оценка тепла, накопленного магматическим очагом вулкана Эльбрус во вмещающих его породах, и возможности его использования // Вулканология и сейсмология. 2009. № 5. С. 3–23.
- 7. Федотов С.А., Сугробов В.Н., Уткин И. С., Уткина Л.И.** Возможности использования тепла магматического очага Авачинского вулкана и окружающих его пород для тепло- и электроснабжения // Вулканология и сейсмология. 2007. № 1. С. 32–46.
- 8. Hess J.C., Lippolt H.J., Gurbanov A.G, Michalowski I.** The cooling history of the late Pliocene Eldzhurtinskiy granite (Caucasus, Russia) and the thermochronological potential of grain-size/age relationships // Earth Planet. Sci. Lett. 1993. V. 117. P. 393–406.

