

# Гравиметрические исследования в Геналдонском ущелье: первые результаты

А.В. Копеев<sup>1</sup>, А.Г. Гурбанов<sup>2</sup>

*Выполнена гравиметрическая съемка на профиле протяженностью 7,5 км в Геналдонском ущелье вдоль реки Геналдон с шагом 0,5 км, с использованием кварцевого термостатированного геодезического гравиметра Содин. Точность аномалий Буге, полученных с использованием цифровой модели рельефа, составляет 0,5 мГал. Южная часть профиля характеризуется значительной отрицательной аномалией, составляющей до –25 мГал и нарастающей по мере приближения к Казбеку. Предварительная интерпретация, выполненная с учетом доступной геолого-геофизической информации, предполагает наличие значительного близповерхностного разуплотнения, связанного с разогретой магматической камерой спящего вулкана Казбек.*

## ВВЕДЕНИЕ

Гравиметрический метод является одним из наиболее часто используемых в полевой геофизике (несмотря на известную неоднозначность интерпретации) благодаря его относительной простоте, мобильности и эффективности комплексирования с такими методами, как сейсмо-, магнито- и электроразведка.

Метод особенно эффективен при выявлении тектонических нарушений, приводящих к вертикальной слоистости среды, и разуплотнений различного рода. Именно в связи с этим возникла идея использовать его в районе долины реки Геналдон для уточнения тектонического строения и обнаружения возможного интенсивного разуплотнения, связанного с наличием предполагаемой близповерхностной магматической камеры вулкана Казбек.

С другой стороны, гравиметрическая съемка в условиях высокогорья представляет собой проблему как с точки зрения метрологических качеств и надежности приборов, так и с точки зрения высотного обеспечения, и потому успех ее был неочевиден.

## МЕТОДИКА РАБОТ

Гравиметрические наблюдения в Геналдонском ущелье были выполнены в июле 2003 г. Для съемки был использован канадский термостатированный полевой кварцевый гравиметр Содин сер. № 212 геодезического типа с погрешностью наблюдений в геодезическом диапазоне (7 Гал) – 0,3–0,5 мГал. Координаты точек наблюдений определялись при помощи карманного GPS-приемника Magellan-3000. Точность определения плановых координат и высоты составляла 1–3 м, что приводило к погрешности определения аномалий Буге – конечно-го продукта съемки – порядка 0,3–0,5 мГал. Шаг

съемки в 500 м выдерживался с точностью  $\pm 100$  м из-за больших сложностей с выбором ровной площадки для установки прибора и нормального обзора неба для захвата не менее 4 спутников GPS-приемником. Необходимости в создании опорной сети не было, поскольку за 3 дня съемки дрейф составил менее 1 мГал по результатам повторных наблюдений на опорной точке вблизи здания базы МЧС в Кармадонском ущелье.

## ОБРАБОТКА ДАННЫХ

Всего было определено 15 значений силы тяжести вдоль долины р. Геналдон по профилю субмеридионального простирания протяженностью 7,5 км на юг от лагеря спасателей у Кармадонского тоннеля (рис. 1, см. цв. вкл.). Почти параллельно основному профилю вдоль ущелья р. Геналдон был выполнен дополнительный опорный профиль вдоль ущелья р. Мидаграбиндон объемом 16 пунктов.

До начала полевых наблюдений и после возвращения в Москву был взят отсчет на абсолютном пункте ГАИШ, таким образом, была обеспечена абсолютная привязка съемки с точностью не ниже 1 мГал. В полученные абсолютные значения силы тяжести на каждом пункте были введены стандартные редукции за нормальное поле, за высоту и за плотность промежуточного слоя ( $2,67 \text{ г/см}^3$ ). Вычтена постоянная составляющая – 80 мГал, соответствующая региональному изостатическому фону. Поправка за притяжение рельефа в результаты обработки данных вводилась на основе цифровой модели рельефа (рис. 2), любезно предоставленной И. Галушкиным, и оригинального комплекса программ из работы [2]. Точность определения поправки за рельеф не хуже 0,5 мГал.

<sup>1</sup> А.В. Копеев – к.ф.-м.н., ГАИШ МГУ.

<sup>2</sup> А.Г. Гурбанов – к.г.-м.н., с.н.с. ИГЕМ РАН.

На рис. 3 приведен график зависимости аномалий Буге вдоль Геналдонского ущелья с учетом притяжения рельефа, для сравнения также представлен график аномалий Буге вдоль Мидаграбинского ущелья.

### ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ

Визуальный анализ графика на рис. 3 свидетельствует о наличии интенсивной аномалии силы тяжести, начинающейся за с. Тменикау и резко нарастающей по направлению к г. Казбек от 0 до 20–25 мГал всего на расстоянии в 3–4 км. Такие градиентные зоны обычно бывают приурочены к крупным близповерхностным сбросам амплитудой порядка 0,5–1 км, перекрытым осадочными толщами. Однако наличие подобного объекта в данном регионе не подтверждается имеющейся геолого-геофизической информацией. Отметим, что без площадной съемки практически невозможно отделить региональный фон на «висящем» профиле. Можно лишь использовать для этой цели почти параллельный Мидаграбинский профиль (рис. 1, 3) и оценить региональный изостатический эффект величиной порядка –10 мГал. Тогда локальный минимум составит порядка 10–15 мГал. Следует отметить, что Мидаграбинский гравиметрический профиль демонстрирует существенно иной характер уменьшения силы тяжести по мере приближения к водораздельной части Главного Кавказского хребта.

Пока его можно интерпретировать в рамках предположения о наличии крупного близповерхностного (первые километры) разуплотнения, связанного с наличием еще не остывшего магматического тела под спящим вулканом Казбек, по аналогии с известной серией публикаций Авдулова и Короновского об интерпретации Эльбрусского гравитационного минимума [1]. Однако градиент (скорость нарастания амплитуды отрицательной аномалии с продвижением на юг) здесь существенно выше, что говорит о наличии разуплотненного тела с близпо-

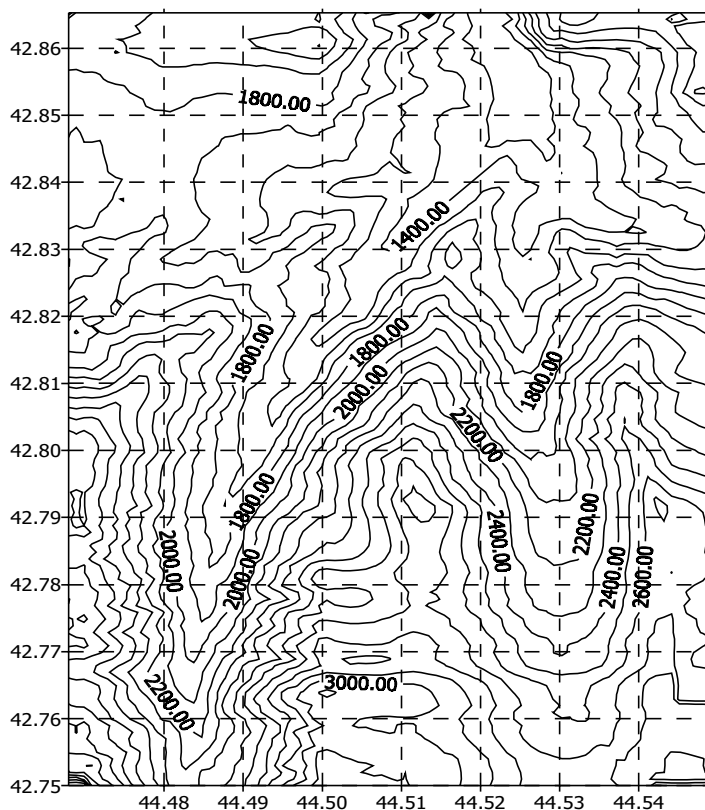
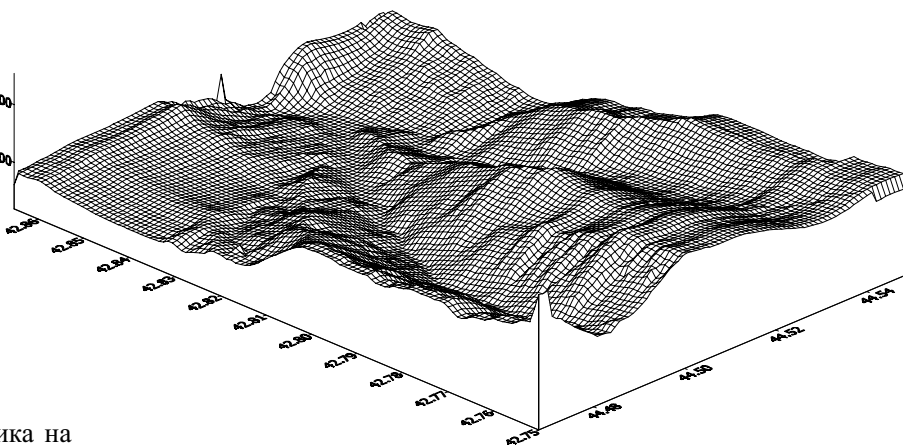


Рис. 2. Фрагмент цифровой модели рельефа Северной Осетии, использованной при вычислении поправки за рельеф в результате гравиметрической съемки в Геналдонском ущелье. Разрешение модели – 50 м. Изолинии проведены через 100 м. Штрих-пунктиром отмечено плановое положение выполненного в июле 2003 г. гравиметрического профиля.

верхностной кровлей (глубина порядка 1–2 км ниже уровня моря), небольшим простиранием по глубине (не более 5–7 км ниже уровня моря) и значительным плотностным контрастом (до 0,5 г/см<sup>3</sup>).

Эльбрусский (значительно более интенсивный по амплитуде) гравитационный минимум скорее всего представляет собой суммарный (и трудноразделимый) эффект трех перекрывающих друг друга по высоте тел аномально низкой плотности – глубокого (20–40 км) магматического очага, близповерхнос-

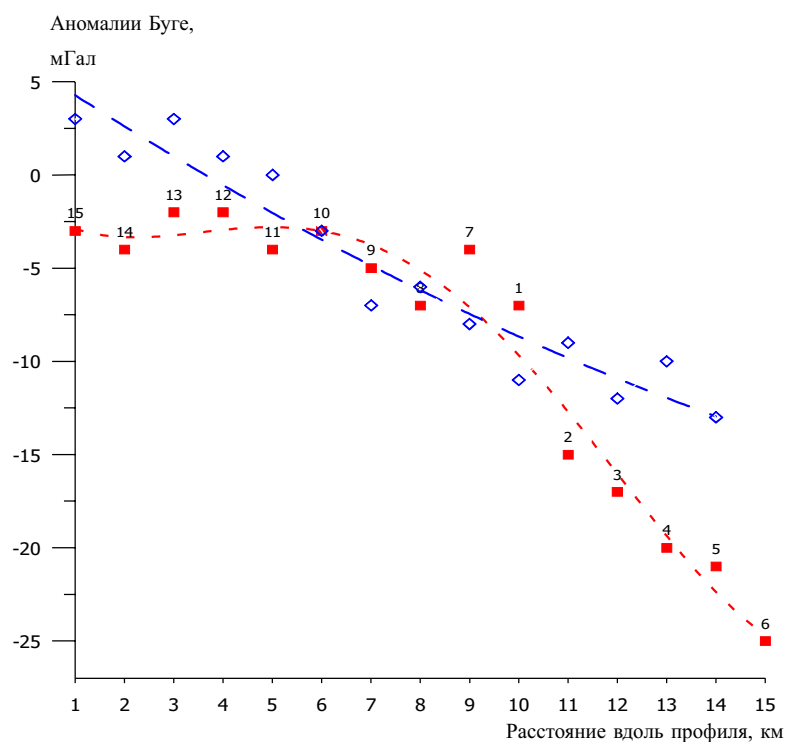


Рис. 3. Графики изменений аномалий Буге вдоль ущелий р. Геналдон (---) и р. Мидаграбиндон (—) после учета притяжения рельефа.

твой (5–10 км) магматической камеры и кальдеры (0–1 км). В случае Казбека глубинный очаг, по предварительным данным, может отсутствовать (или уже остыл), как и кальдера, а камера расположена очень близко под поверхность, имеет относительно меньшие размеры и значительный плотностной контраст (до  $0,5 \text{ г/см}^3$ ). Поскольку плотность горных пород при переходе в расплав уменьшается на 10–15 %, для объяснения такой аномалии приходится предположить, опять же по аналогии с [1], наличие водных флюидов в магматическом расплаве в большом количестве (до 20 %), что может свидетельствовать об очень высокой (более  $1000^\circ$ ) температуре в магматическом расплаве.

Такая интерпретация является, безусловно, предварительной до получения новых гравиметрических и других геофизических данных, однако она подтверждается появлением значительно более горячих, чем в Приэльбрусье, минеральных источников по мере приближения к Казбеку, а также результатами электроразведки методом МТЗ и дистанционного теплового зондирования (см. статьи в настоящем сборнике).

## Литература

1. Авдулов М., Короповский Н. О геологической природе Эльбрусского гравитационного минимума // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология, 1993. № 3. С. 94–101.
2. P. Banerjee. Gravity measurements and terrain corrections using a digital terrain model in the NW Himalaya // Computers and Geosciences, 1998. V. 24. №. 10. P. 1009–1020.

## ВЫВОДЫ

Предварительная интерпретация данных гравиметрической съемки по профилю протяженностью 7,5 км в Геналдонском ущелье с высокой степенью вероятности позволяет интерпретировать интенсивный гравитационный минимум в южной части профиля с резким нарастанием отрицательной аномалии по мере приближения к г. Казбек как эффект близповерхностной (кровля – 1–2 км, подошва – 5–7 км) магматической камеры, причем вещество в ней насыщено водными флюидами и нагрето до температуры более  $1000^\circ$ .

Для более уверенной интерпретации потребуются дополнительные геофизические, геологические и гидрогеологические данные, в том числе результаты площадной (по возможности) гравиметрической съемки, без которой крайне затруднительно разделить наблюдаемое поле на региональную часть, вызванную притяжением изостатических корней Кавказского хребта, и локальную, обусловленную эффектом верхней части разреза, включая предполагаемую магматическую камеру.

Выбранная методика работ и использованное оборудование позволяют успешно выполнять качественные гравиметрические наблюдения в экстремальных высокогорных условиях, однако работы могут быть сильно затруднены или невозможны в условиях непогоды.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Наблюдения и обработка данных выполнены при финансовой поддержке Владикавказского научного центра РАН и Правительства Республики Северная Осетия-Алания, РФФИ (грант 03-05-64215). Авторы настоящего отчета искренне признательны А.Г. Кусраеву, В.Б. Заалишвили и сотрудникам МЧС Республики Северная Осетия-Алания за внимание и содействие в работе. Сотрудники ИГЕМ РАН В. Газеев, А. Докучаев и А. Лексин оказали неоценимую помощь при проведении наблюдений и обработке данных. Студенты физ. факультета МГУ Н. Борисова и А. Лагуткина помогали при подготовке аппаратуры и проведении вычислений.

# Результаты первого этапа электроразведочных работ АМТЗ и МТЗ в Геналдонском ущелье

В.Н. Арбузкин<sup>1</sup>, И.С. Фельдман<sup>2</sup>, Е.А. Трофименко<sup>3</sup>

Магнитотеллурические исследования являются составной частью комплекса геолого-геофизических работ, проводимых в различных регионах, в том числе с целью изучения геодинамического состояния среды, оценки возможности развития опасных (катастрофических) геологических процессов. В 2001–2002 гг. работы МТЗ, выполненные в Приэльбрусье, позволили выделить в районе вулкана аномалии проводимости, которые трактуются как магматическая камера (на глубинах 2–8 км) и магматический очаг (глубины свыше 30 км).

В Геналдонском ущелье небольшой объем АМТЗ и МТЗ выполнен в июле–августе 2003 г. геофизической службой ФГУГП «Кавказгеолсъемка» по договору с Владикавказским научным центром (ВНЦ) РАН.

Аудиомагнитотеллурические зондирования (АМТЗ) играли вспомогательную роль и проводились с целью изучения верхней части разреза, оценки уровня помех и выбора пунктов постановки МТЗ. Работы выполнялись станцией АКФ (аппаратура корреляционных функций). Крестообразной установкой регистрировались 4 компонента естественного электромагнитного поля Земли  $E_x$ ,  $E_y$ ,  $H_x$ ,  $H_y$ . Длина приемных диполей была выбрана на основании опытных работ и составила 50 м. Увеличение длины линий до 100 м приводило к резкому увеличению уровня регистрируемых помех и весьма ограничивало выбор площадок, пригодных к работе. Методика наблюдений была стандартной и соответствовала «Инструкции по эксплуатации аппаратуры АКФ». Перед началом полевых работ и в их процессе проводились калибровки каналов и индукционных датчиков. Наблюдения выполнялись с помощью портативного Notebook «Toshiba», который использовался как управляющий, регистрирующий и обрабатывающий блок. Диапазон измерений составлял в основном 10–600 Гц, на отдельных точках низкие частоты регистрировались с 8 Гц. Длительность собственно измерений в этом

частотном диапазоне не превышает 1 мин., но цикл считается завершенным, если когерентность между соответствующими каналами не ниже 0,7. Неожиданно высоким оказался фон электромагнитных помех, особенно в районе п. Кармадон. Поэтому на каждой точке цикл измерений многократно повторялся, часто с переменной места установки, до получения необходимой когерентности. Фактически на отработку одного пункта АМТЗ уходил рабочий день. Всего на профиле выполнено 11 ф.т. АМТЗ, пригодными к обработке и интерпретации признаны наблюдения в 10 пунктах.

Полевые работы МТЗ выполнялись двумя станциями «Phoenix» (Канада) – MTU-5MT № 1285 и MTU-2E № 1403. Станция MTU-5MT использовалась как базовая на точке № 10, остальные пункты отработаны станцией MTU-2E. Перед началом профильных работ на базовой точке в течение 3 суток изучалось соотношение сигнал/помеха с регистрацией 4 компонент естественного электромагнитного поля ( $E_x$ ,  $E_y$ ,  $H_x$ ,  $H_y$ ) в полном частотном диапазоне станций MTU (320–0,00055 Гц). Было установлено, что наиболее благоприятное время – ночные часы. На рядовых пунктах электрические поля регистрировались крестообразной установкой длиной 50–90 м, в азимутах 0–90°. Регистрация проводилась с 19 часов вечера до 6–7 часов утра. Практически весь период наблюдений сопровождался пасмурной погодой, дождями с грозами и туманами, что осложняло как выбор площадок, так и перемещение аппаратуры с пункта на пункт. Калибровка станций и индукционных датчиков выполнена дважды: до начала работ и по их завершении. Планово-высотная привязка пунктов наблюдений осуществлялась с помощью GPS-приемников, входящих в состав станций. Схема расположения пунктов наблюдений показана на *рис. 1*.

Обработка материалов АМТЗ выполнена по обычной схеме. После окончания сеанса измерений

<sup>1</sup> В.Н. Арбузкин – начальник партии, ФГУГП «Кавказгеолсъемка», г. Ессентуки.

<sup>2</sup> И.С. Фельдман – к. г.-м. н., ООО «Центр ЭМИ», главный геофизик, г. Москва.

<sup>3</sup> Е.А. Трофименко – главный геофизик партии, ФГУГП «Кавказгеолсъемка», г. Ессентуки.