

6. Фатькин. К.Б. Локализация и идентификация физико-геологических неоднородностей соляной толщи методами сейсмического амплитудного анализа (на примере ВКМКС): автореф. дис. ... канд. техн. наук. 25.00.16: защищена 20.11.08 / Фатькин Константин Борисович. – Пермь, 2008. – 22 с.
7. Методические рекомендации по проведению инженерно-геологических изысканий на карстоопасных территориях (на примере Пермского края) / ГИ УрО РАН, ОАО «ПНИИИС»; [сост.: Красноштейн А.Е. и др.]. – М.: ОАО «ПНИИИС», 2009. – 154 с.

УДК 550.312

DOI:10.7242/echo.2021.4.17

## ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ГРАВИМЕТРИЧЕСКОГО РЕДУЦИРОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ УЛЬТРАМАФИТОВОГО МАССИВА КОНДЕР)

В.В. Хохлова

*Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

**Аннотация:** Разработана новая методика решения прямой задачи гравиразведки с учетом сферичности земной поверхности. Этот метод базируется на применении сферических параллелепипедов для более достоверного описания возмущающих масс, использовании сферы Каврайского для аппроксимации Земли, формировании аналитической модели рельефа для замены цифровой модели. На примере высокоточной гравиметрической съемки масштаба 1:25 000 продемонстрированы последствия игнорирования реальной формы земной поверхности при относительно небольших размерах изучаемой площади.

**Ключевые слова:** гавиразведка, сферический параллелепипед, радиальная составляющая, обработка полевых данных, гравиметрическое редуцирование.

Предусмотренный «Инструкцией по гавиразведке» [2] граф обработки данных наземной гравиметрической съемки основывается на плоской границе «Земля-воздух» и не включает в себя процедур, учитывающих шарообразную форму Земли [1]. Между тем, игнорирование реальной формы земной поверхности вносит неконтролируемые погрешности в результаты полевых наблюдений. Для учета сферичности Земли при редуцировании гравиметрических данных разработан новый алгоритм решения прямой задачи гравиметрии. Особенностями алгоритма является использование сферы Каврайского в качестве модели Земли, аппроксимация топографических масс набором сферических параллелепипедов, вычисление радиальной составляющей силы тяжести с помощью адаптивного кубатурного алгоритма [6].

Для оценки искажений гравитационных аномалий, возникающих при стандартной процедуре гравиметрического редуцирования (без учета сферичности Земли), проведена переобработка полевых данных, полученных при гравиметрической съемке на горном массиве Кондер. Массив находится в Аяно-Майском районе северной части Хабаровского края. Расположен в 75 км к западу от села Джигда, в 100 км на юго-запад от села Нелькан и в 1100 км на север от Хабаровска. Кондер представляет собой почти идеально круглой формы геологическое образование, напоминающее кратер – диаметром 7-8 км и возвышающееся над окружающим плато на 700 м, достигая 1400 м в своей высшей точке (рис. 1).

Полевая гравиметрическая съемка масштаба 1:25000 выполнялась Научно-производственной геофизической экспедицией Горного института УрО РАН на площади 35 км<sup>2</sup>. Шаг измерений составлял 50 м, межпрофильное расстояние – 200 м; кроме того, выполнялись профильные наблюдения по 4-м профилям, выходящим за пределы Кондерского массива с шагом 50 м. Работы проводились в соответствии с проектом, «Ин-

струкцией по гравиразведке» [2], «Инструкцией по топографо-геодезическому и навигационному обеспечению геологоразведочных работ» [3].



Рис. 1. Горный массив Кондер [7]

Гравиметрические работы выполнялись высокоточными компьютеризированными гравиметрами AUTOGRAV CG-5 № 82, № 404 фирмы SCINTREX (Канада). Для проведения топографо-геодезической съемки использовались электронный тахеометр Topcon GTS-239, GPS-приемники Trimble-R8, навигационные GPS-приемники Garmin. Рядовая гравиметрическая сеть включает в себя 4185 гравиметрических пунктов. Общая среднеквадратическая погрешность определения силы тяжести на рядовых гравиметрических пунктах с учетом погрешности опорной сети составляет  $\pm 0.023$  мГал.

Обработка полевых гравиметрических материалов осуществлялась в соответствии с «Инструкцией по гравиразведке» [2]. Поправки за свободный воздух и промежуточный слой были вычислены по стандартным формулам. Поправки в гравитационное поле за влияние рельефа местности рассчитывались программой TopWin [5] с использованием цифровых моделей рельефа, сформированных:

- путем использования векторизованных топографических карт масштаба 1: 50 000 – для центральной и ближней зон (шаг сети отметок высот – 33,3 м);

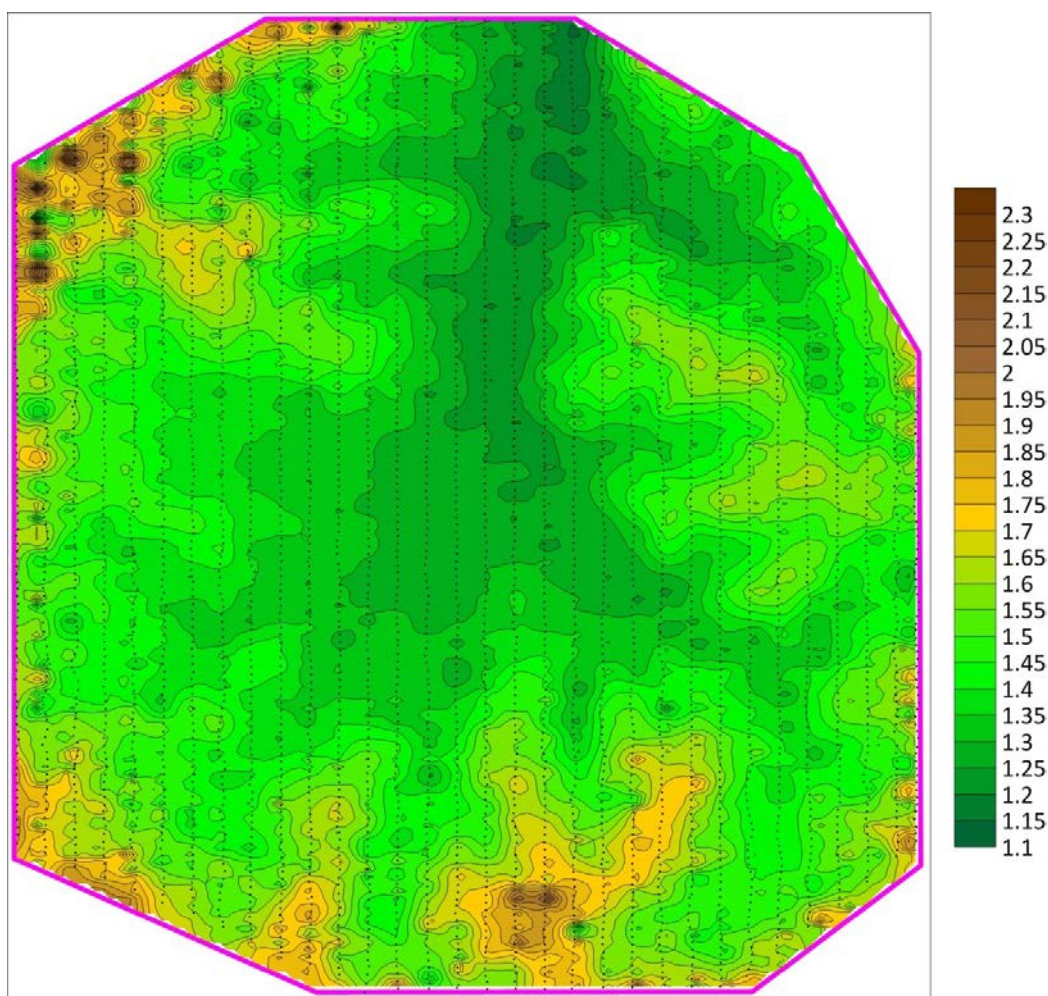
- путем пересчета данных о рельефе Земли матрицы SRTM, заданной с разрешением 90 м на земную поверхность, расположенных между 60 градусом северной и 56 градусом южной широты в узлы равномерной сети (шаг сети отметок высот – 50 и 300 м). Матрица SRTM свободно распространяется через Internet Национальным картографическим управлением США (National Imagery and Mapping Agency, NIMA) NASA.

Полученные значения суммарной поправки за влияние рельефа местности изменяются в диапазоне от 1.97 до 18.96 мГал.

Среднеквадратическая погрешность определения аномалии Буге с учетом погрешности наблюдаемых значений силы тяжести, определения высот и координат пунктов

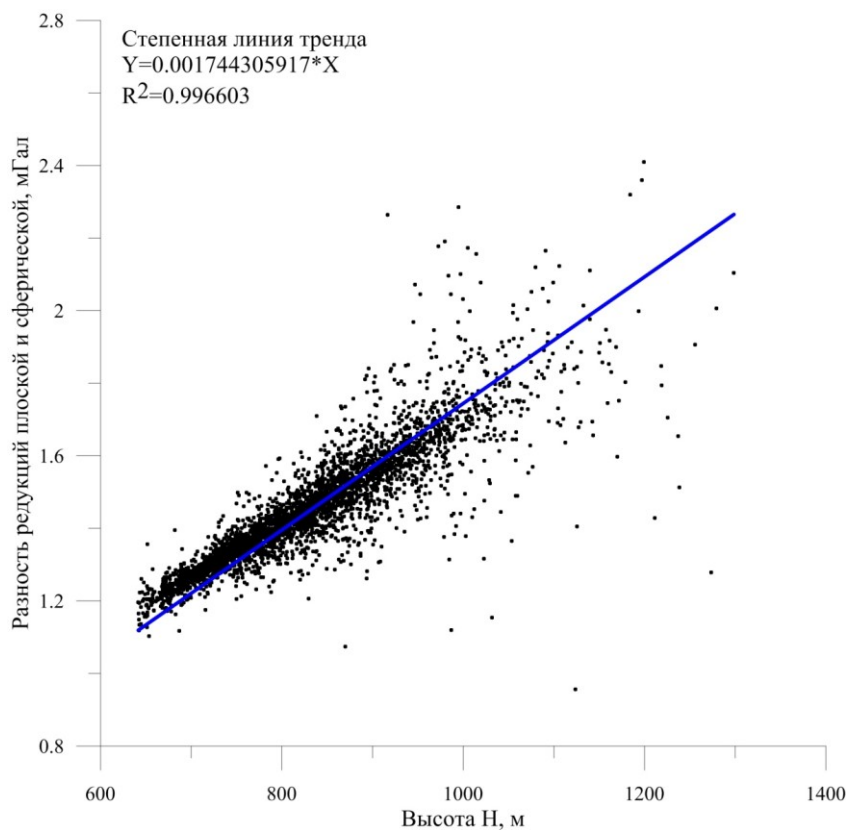
наблюдений составила  $\pm 0.024$  мГал и  $\pm 0.038$  мГал – с учетом погрешностей вычисления поправок за влияние рельефа местности.

Учет сферичности Земли при редуцировании гравиметрических данных производится при вычислении топографических поправок: за промежуточный слой и окружающий рельеф; таким образом, этапы первичной обработки и подготовки цифровых моделей рельефа проходят без изменений. Поправка за свободный воздух была вычислена по инструкции, для вычисления поправки за промежуточный слой была использована формула Каленицкого А.И. [4]. Поправки в гравитационное поле за влияние рельефа местности рассчитывались доработанной программой TopWin 2.0. Полученная гравитационная аномалия в редукции Буге с учетом сферичности земной поверхности характеризуется амплитудой от -27.58 до 18.20 мГал.



**Рис. 2.** Разность наблюдаемых гравитационных полей  $\Delta g(n)$  в редукции Буге, вычисленных согласно «Инструкции по гравirazведке» и предложенному графу обработки

Разность наблюдаемых гравитационных полей в редукции Буге, вычисленных согласно «Инструкции по гравirazведке» и предложенному алгоритму представлена на рис. 2. Величина разности колеблется от 0.96 до 2.41 мГал, что составляет 3,23% от общей аномалии редукции Буге. На рисунке 3 показан кросс-плот зависимости разности редукций («плоской» и «сферической») от высоты точки наблюдения. Коэффициент детерминации между анализируемыми параметрами весьма высокий:  $R^2 = 0.996$ , что свидетельствует о наличии сильной корреляционной связи.



**Рис. 3.** Кросс-плот зависимости разности редукций, полученных разными способами, от высоты рельефа

На примере высокоточной гравиметрической съемки масштаба 1:25 000 продемонстрированы последствия игнорирования реальной формы земной поверхности при относительно небольших размерах изучаемой площади. Используя устаревший граф обработки полевых гравиметрических данных, мы сознательно вносим неконтролируемые погрешности в результаты наблюдений, что может привести к невосполнимой потере информации от целевых геологических объектов, которую невозможно компенсировать применением самых совершенных интерпретационных технологий. Предлагаемый алгоритм вычисления топографических поправок для сферической Земли должен существенно повысить эффективность гравиразведки при прогнозировании, поисках и разведке месторождений полезных ископаемых.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Долгаль А.С., Хохлова В.В. Модель Земли в гравиразведке – плоскость или сфера? // Горное эхо. – 2014. – № 2-3 (55-56). – С. 31-35.
2. Инструкция по гравиразведке. – М.: Недра, 1980. – 83 с.
3. Инструкция по топографо-геодезическому и навигационному обеспечению геологоразведочных работ / СНИИГиМС. – Новосибирск, 1997. – 106 с.
4. Методические рекомендации по учету влияния рельефа местности в гравиразведке / СНИИГиМС; [Сост.: А.И. Каленицкий, В.П. Смирнов]. – Новосибирск, 1981. – 174 с.: ил.
5. Симанов А.А. Учет влияния рельефа местности при высокоточной гравиметрической съемке на основе геоинформационных технологий // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: материалы регион. науч.-практ. конф. / ПГУ. – Пермь, 2008. – С. 220-223.
6. Хохлова В.В. Разработка методов решения прямой задачи гравиразведки на сферической Земле // Горное эхо. – 2020. – № 2 (79). – С. 71-73. DOI: 10.7242/echo.2020.2.14.
7. Кондер: материал из Википедии. – Текст электронный. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Кондер>. (Дата обращения 1.10.21).