

3. Степанов Ю.И., Бушуева Е.С. Опыт применения метода естественного поля в соляных шахтах // Инженерная и рудная геофизика – 2020: 16-я науч.-практ. конф. и выставка, 14-18 сент. 2020. – Пермь, 2020. – С. 47. – DOI: 10.3997/2214-4609.202051063.
4. Титов В.К. Электрокинетические явления в горных породах и их применение в геоэлектрике: дис. ... к.г.-м.н.; 25.00.10 / Титов Константин Владиславович. – СПб., 2003 – 198 с.: ил.
5. Михайленко А.А., Коносавский П.К., Титов К.В. Методические вопросы моделирования естественного электрического поля, вызванного откачкой воды из скважины // Математические модели техники, технологий и экономики: материалы Всерос. науч.-практ. студенч. конф., 14-15 мая 2019 г. – СПб., 2019. – С. 34-37.
6. Арсеньева А.А., Титов К.В., Коносавский П.К., Жуков А.А. Изучение природы естественного электрического поля, возникающего в подземной горной выработке в руднике на месторождении калийно-магниевых солей // Актуальные проблемы недропользования: тез. докл. XVIII Междунар. форум-конкурса студентов и молодых ученых. – СПб., 2022. – С. 208-210.
7. Чайковский И.И., Калинина Т.А., Коротченкова О.В. Тектонические и эпигенетические процессы в надсолевой толще Верхнекамского месторождения // Литосфера. – 2015. – № 5. – С. 71-80.
8. Шевнин В.А., Бобачев А.А., Иванова С.В. Результаты применения методов естественного поля и электротомографии для изучения Александровского городища (Калужская область) // Записки Горного института. – 2015. – Т. 211. – С. 35-42.

УДК 550.831

DOI:10.7242/echo.2023.4.12

ПЕРВИЧНАЯ ОБРАБОТКА ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ В УСЛОВИЯХ РЕЗКО РАСЧЛЕНЕННОГО РЕЛЬЕФА

В.В. Хохлова

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация. При проведении гравиметрических работ на расчлененном рельефе сложность представляет не только выполнение съемки в горной местности, но и последующая первичная обработка гравиметрических данных. Тщательный подбор плотности промежуточного слоя, вычисление влияния топографических масс, слагающих рельеф, а также учет сферичности – всё это необходимые этапы обработки.

Ключевые слова: гравиразведка, расчлененный рельеф, сферичность, поправка за рельеф.

Согласно «Инструкции по гравиразведке» при обработке гравиметрических данных поправки Буге и за влияние рельефа вводятся в предположении, что промежуточный слой является плоской однородной горизонтальной пластиной. Возникающие при этом погрешности, обусловленные неучетом сферичности Земли, рассмотрены в работах [2, 6]. Рассмотрим учет сферичности Земли на примере гравиметрической съемки, выполненной в условиях среднегорного резко расчлененного рельефа.

При планировании гравиметрических работ в горной местности следует опираться на ландшафт. Допускается отклонение от прямолинейности профилей в случаях, когда необходимо избежать неблагоприятных участков для проведения измерений; либо выполнить наблюдения вдоль дорог, троп или горных ущелий. Для минимизации поправок за влияние рельефа при дальнейшей камеральной обработке следует выбирать местоположение точки наблюдения на относительно ровном участке. Желательно, чтобы в радиусе 1 метра не было неровностей рельефа более чем на 10 см. выше или ниже пункта наблюдения. Измерений на краю скал или крутых берегов рекомендуется избегать.

В 2022 году была выполнена наземная пешеходная гравиметрическая съемка по неравномерной сети профилей с шагом по профилю 100 м. Фактически выполненный объем работ составил 84,3 пог. км. В качестве аппаратуры были применены автоматизированные гравиметры CG-6 Autograv фирмы Scintrex (Канада), GPS-приемники Trimble-R8. Гравиметрические наблюдения были проведены в относительном уровне. Для оценки качества съемки выполнены контрольные наблюдения ~70% от общего числа рядовых пунктов. Среднеквадратическая погрешность определения аномалии силы тяжести составила ± 0.029 мГал. Относительные высоты достигают 500 м (рис. 1).

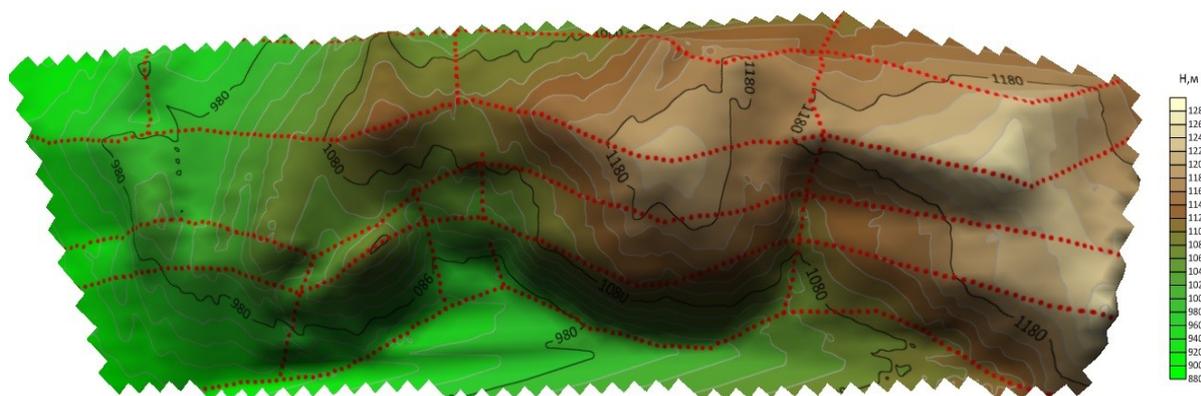


Рис. 1. Рельеф местности по данным геодезических наблюдений

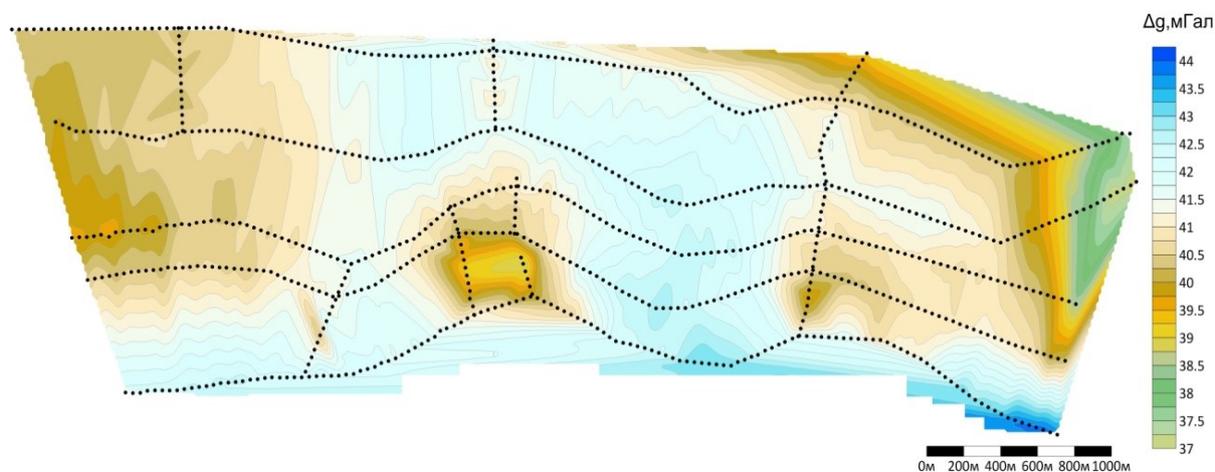


Рис. 2. Аномалия силы тяжести в редукции Буге с поправкой за влияние рельефа (плотность 2.4 г/см^3)

Обработка полевых гравиметрических данных выполнялась согласно действующей Инструкции по Гравиразведке [3] с применением информационно-аналитической системы «ИАС ГРАВИС», разработанной в лаборатории геопотенциальных полей Горного института УрО РАН [5]. Поправки за свободный воздух и промежуточный слой вычислялись с использованием стандартных формул. Влияние рельефа на гравитационное поле учитывалось с использованием программы TopWin [1]. В качестве исходных данных для создания цифровой модели рельефа (ЦМР) были использованы спутниковые данные о рельефе Земли, заданные с разрешением 30 м на земную поверхность, полученные из доступных в сети Интернет ресурсов, предоставленных Национальным агентством геопро пространственной разведки США

(National Imagery and Mapping Agency, NIMA). Эти данные были «вырезаны» в радиусе 177 км от границ площади наблюдений и конвертированы в узлы равномерной сети с шагом высотных отметок в 300 м. Плотность промежуточного слоя была определена методом Неттлетона и составила $2,4 \text{ г/см}^3$. Значения суммарной поправки, учитывающей влияние рельефа местности, колеблются в пределах от 1,20 до 2,34 мГал.

Карта аномалии в редукции Буге с поправкой за рельеф с плотностью 2.4 г/см^3 приведена на рис. 2, амплитуда аномалии от 37.4 до 43.6 мГал.

Учитывать криволинейность земной поверхности в процессе камеральной обработки полевых материалов необходимо на этапе ввода топографических поправок (за промежуточный слой и влияние рельефа). Соответственно, этапы полевой съемки, первичной обработки данных и подготовки ЦМР остаются без изменений. Поправка Фая была рассчитана в соответствии с Инструкцией по гравиразведке [3], а поправка за промежуточный слой вычислена с применением формулы А.И. Каленицкого и В.П. Смирнова [4]. Поправки в гравитационное поле, учитывающие отклонения реального рельефа от сферического промежуточного слоя, рассчитывались усовершенствованной программой TopWin 2.0 [1], диапазон их изменения составил от 0.94 до 2.05 мГал. Полученная гравитационная аномалия в редукции Буге с учетом сферичности земной поверхности характеризуется амплитудой от 35.8 до 42.0 мГал.

На рис. 3 показана разность наблюдаемых гравитационных полей в редукции Буге, вычисленных в соответствии с «Инструкцией по гравиразведке» и по методике, учитывающей сферичность Земли. Разница изменяется в интервале от 1.34 до 1.66 мГал, что составляет примерно 3,8% от наблюдаемой аномалии силы тяжести в редукции Буге (рис. 2). На рисунке 4 приведен кросс-плот, отражающий связь между разностью редукций («плоской» и «сферической») и высотой пункта наблюдения. Очевидно, что между параметрами существует сильная корреляционная связь, т.к. коэффициент детерминации равен 0.985.

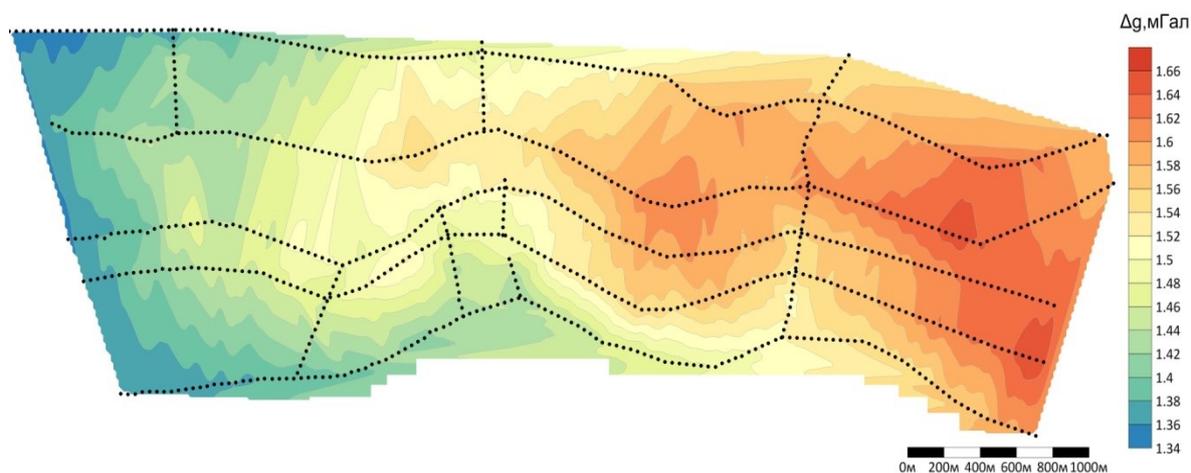


Рис. 3. Разность наблюдаемых гравитационных полей $\Delta g(n)$ в редукции Буге, вычисленных согласно «Инструкции по гравиразведке» и с учетом кривизны земной поверхности

Таким образом, неучет сферичности Земли при обработке высокоточных гравиметрических данных в условиях расчлененного рельефа существенным образом искажает аномалии силы тяжести. Возникающие при этом погрешности более чем в 50 раз превышают точность полевых гравиметрических измерений.

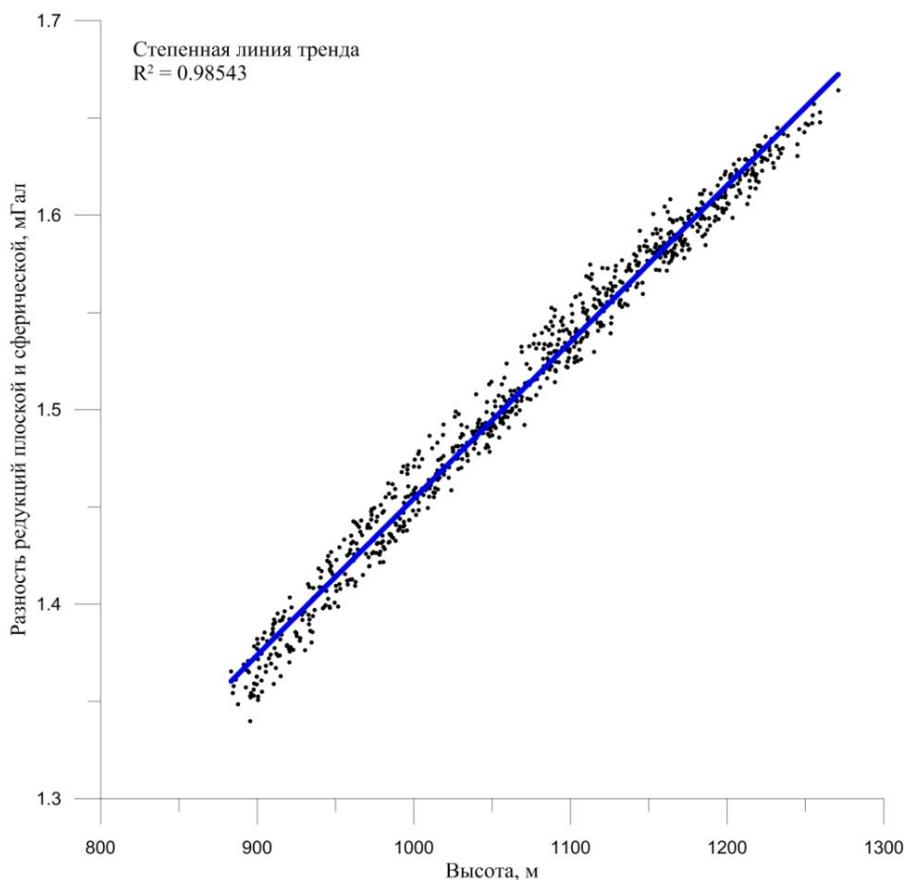


Рис. 4. Кросс-плот зависимости разности редуций, полученных разными способами, от высоты точки наблюдения

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Долгаль А.С. Компьютерные технологии обработки и интерпретации данных гравиметрической и магнитной съемок в горной местности. – Абакан: Таймыркомприродресурсы, 2002. – 187 с.: ил.
2. Долгаль А.С., Бычков С.Г., Костицын В.И., Симанов А.А., Хохлова В.В. Оценка искажений аномалий силы тяжести, обусловленных влиянием сферичности Земли // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: сб. науч. тр. Вып. 1 (46) / ГИ УрО РАН [и др.]. – Пермь, 2019. – С. 121-126.
3. Инструкция по гравirazведке. – М.: Недра, 1980. – 83 с.
4. Методические рекомендации по учету влияния рельефа местности в гравirazведке / СНИИГиМС; [Сост.: А.И. Каленицкий, В.П. Смирнов]. – Новосибирск, 1981. – 174 с.: ил.
5. Симанов А.А. Разработка и создание информационно-аналитической системы хранения, обработки и анализа гравиметрических данных: дис. ... к.т.н.: 25.00.10: защищена 27.11.08 / Симанов Алексей Аркадьевич. – М., 2008. – 160 с.
6. Хохлова В.В. Применение современных методов гравиметрического редуцирования (на примере ультрамафитового массива Кондёр) // Горное эхо. – 2021. – № 4 (85). – С. 83-86. – DOI: 10.7242/echo.2021.4.17.