

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЛОБАЛЬНЫХ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА ПРИ ОБРАБОТКЕ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ В ГОРНОЙ МЕСТНОСТИ

А.А. Симанов

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

Аннотация. В данной статье приведены результаты оценок точности современных глобальных цифровых моделей рельефа (ЦМР) SRTM и FABDEM на примере гравиметрической съемки, выполненной в горной местности. Анализ точности высот, представленных ЦМР, выполнен на основе сравнения глобальных ЦМР SRTM и FABDEM с результатами полевой геодезической съемки. Был проведен сравнительный анализ гравиметрических поправок, учитывающих влияние рельефа местности, вычисленных на основе разных ЦМР. Из проведенного сравнительного анализа можно сделать вывод, что модель FABDEM лучше соответствует данным полевых наблюдений, чем модель SRTM. Поэтому в условиях расчлененного рельефа версия модели FABDEM предпочтительнее при расчете гравиметрических поправок за окружающий рельеф и многих других процедур обработки и анализа гравиметрической информации.

Ключевые слова: гравиразведка, расчлененный рельеф, цифровые модели рельефа, поправки за влияние рельефа местности.

В процедурах обработки высокоточных гравиметрических данных информация о рельефе имеет важное значение не только при расчете аномалий силы тяжести, но также в использовании цифровых моделей рельефа для расчета гравиметрических поправок, связанных с влиянием окружающего рельефа местности. Определение поправок за рельеф является необходимой процедурой при выполнении гравиметрических исследований, при этом исходными данными при расчете являются цифровые модели окружающего рельефа, а в условиях расчлененного рельефа местности необходимо тщательно подходить к выбору той или иной ЦМР [1,2].

Особое внимание следует уделить созданию цифровых моделей рельефа для центральной и ближней зон, так как их влияние на гравиметрические поправки является наиболее значительным. Влияние дальних зон существенно слабее. В горной местности градиент поправок за центральную зону может достигать 0,5 мГал/100 м, поэтому точность расчета поправок за эту зону имеет главное значение [3].

Для решения прикладных задач обработки гравиметрических данных нами используются глобальные ЦМР.

- SRTM – это глобальная ЦМР (цифровая модель рельефа), полученная при помощи радарной топографической съемки Shuttle Radar Topographic Mission. Она имеет два уровня разрешения: 1" (~ 30 м) и 3" (~ 90 м). ЦМР SRTM охватывает территорию между 60 градусами северной и 56 градусами южной широты. Съемка была проведена в период с 11 по 22 февраля 2000 года при помощи сенсоров SIR-C и X-SAR, использующих технологию радиолокационного синтезирования аппаратуры. [4].

- FABDEM – в 2020 году была представлена ЦМР Copernicus DEM, GLO-30, которая представляет собой глобальную цифровую модель рельефа с шагом сетки 1 угловая секунда (~ 30 м). Исследователи из Бристольского университета и Fathom после публичного выпуска Copernicus GLO-30 DEM применили методы машинного обучения для удаления зданий и лесов из цифровой модели рельефа Copernicus. В результате была создана глобальная карта высот FABDEM (FAB означает «Леса и здания удалены»), которая представляет собой версию Copernicus DEM, где на карте отображается только местность без зданий и лесов. [5].

Цифровые модели SRTM и FABDEM предоставляются с использованием географических координат, основанных на геодезическом эллипсоиде WGS84. При обработке гравиметрических данных основной характеристикой этих моделей является точность определения абсолютной высоты. Для оценки точности данных ЦМР выполнен сравнительный анализ высот, представленных на самих ЦМР, с инструментальными высотами, выполненными непосредственно в поле.

Гравиметрическая съемка выполнена в горной местности с множеством саев и промоин, с резкими перепадами высот около 500 м. Полевые работы выполнены на 840 пунктах высокоточными компьютеризированными гравиметрами AUTOGRAV CG-6. При проведении геодезической съемки использовались GPS-приемники «Trimble R8». Точность определения высот пунктов геофизических наблюдений составляет ± 0.05 м. Среднеквадратическая ошибка определения аномалий силы тяжести составила ± 0.029 мГал.

Результаты сравнения высот, представленных на различных ЦМР сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Расхождения в значениях высот, представленных на различных ЦМР

N п/п	Исходная ЦМР	Статистические характеристики высот, м		
		max	min	СКО
1	FABDEM	12.12	-17.17	± 2.71
2	SRTM 30	18.61	-21.63	± 4.45
2	SRTM 90	30.91	-30.49	± 7.70

Анализ высот на всей исследуемой территории показывает, что модель рельефа FABDEM имеет гораздо меньшие ошибки в значениях высот по сравнению с цифровой моделью SRTM (табл. 1). Построены гистограммы ошибок высот, представленных на различных ЦМР. Характер отклонений высот близок к нормальному распределению (рис. 1).

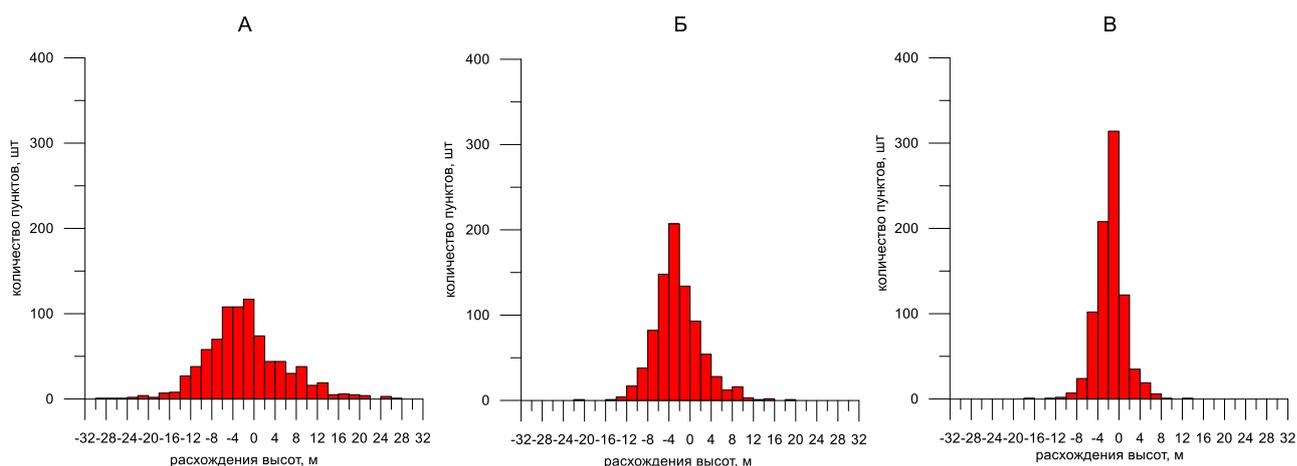


Рис. 1. Гистограммы расхождений высот, представленных на различных ЦМР (А- SRTM90, Б- SRTM30, В- FABDEM)

Ясно, что точность вычисления поправок за влияние рельефа местности напрямую зависит от ошибок значений высот в исходной ЦМР. Для оценки этой точности в радиусе до 5 км (ближняя зона) был проведен ряд экспериментов, в которых использова-

лись различные ЦМР. В качестве исходных данных были взяты значения гравиметрических поправок, рассчитанных на основе ЦМР FABDEM.

Полученные величины топографических поправок за окружающий рельеф местности в ближней зоне изменяются в интервале от 0.331 до 2.382 мГал. Характеристики расхождений этих поправок показаны в таблице 2.

Таблица 2

Погрешности поправок за рельеф, полученных на основе различных ЦМР

N п/п	Исходная ЦМР	Расхождения топопоправок, мГал		
		max	min	СКО
1	SRTM 30	0.435	-0.188	±0.095
2	SRTM 90	0.886	-0.346	±0.162

С использованием полученных данных были построены карты аномалий силы тяжести с топографическими поправками, вычисленными по различным ЦМР (рис. 2). Из сравнения карт видно, что аномалии силы тяжести, вычисленные с использованием ЦМР FABDEM, более гладкие, четко оконтуриваются локальные аномалии, исчезли мелкие аномалии (рис. 2Б). Это связано скорее всего с погрешностями высот, представленных на той или иной ЦМР.

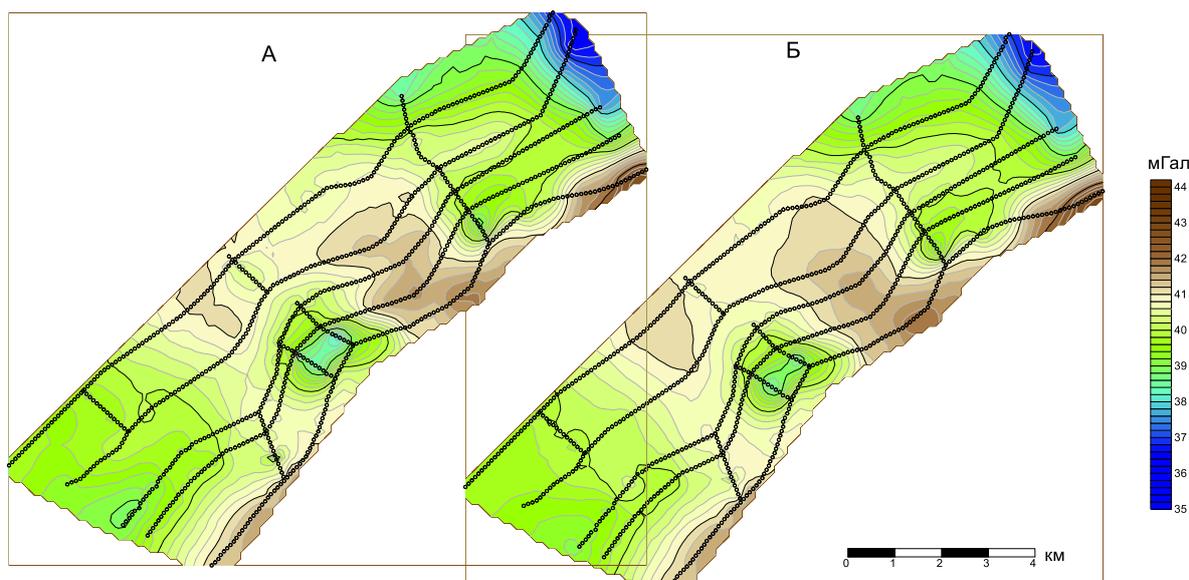


Рис. 2. Карты гравитационного поля с поправками за рельеф на основе различных ЦМР (А-SRTM30, Б-FABDEM)

Использование улучшенной информации об окружающем рельефе ЦМР FABDEM повышает точность определения топографических поправок за рельеф местности и многих других процедур обработки и анализа гравиметрической информации. При обработке гравиметрических данных в условиях расчлененного рельефа местности необходимо тщательно подходить к выбору цифровых радарных высотных данных, выполнять верификацию имеющихся ЦМР, сравнивая их с высотами гравиметрических пунктов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и образования РФ (рег. номер НИОКТР 122012000398-0).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гордин В.М. Способы учета влияния рельефа при высокоточных гравиметрических измерениях: обзор. – М.: ВИЭМС, 1974. – 89 с. – (Сер. IX. Региональная, разведочная и промысловая геофизика: ВИЭМС. ОЦНТИ).
2. Долгаль А.С. Компьютерные технологии обработки и интерпретации данных гравиметрической и магнитной съемки в горной местности. – Абакан: Таймыркомприродресурсы, 2002. – 187 с.: ил.
3. Симанов А.А. Повышение достоверности учета рельефа местности при высокоточных гравиметрических исследованиях // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 9. / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2011. – С. 144-146.
4. Jarvis A., Reuter H.I., Nelson A., Guevara E., Hole-filled seamless SRTM data V 3. – 2006 / International Centre for Tropical Agriculture (CIAT). – Текст электронный. – URL: <http://srtm.csi.cgiar.org>. (Дата обращения 23.09.2023).
5. Hawker L., Uhe P., Paulo L., Sosa J., Savage J., Sampson C., Neal J. (2022). A 30 m global map of elevation with forests and buildings removed // Environmental Research Letters. –2022. – V. 17, № 2. – 024016. – DOI: 10.1088/1748-9326/ac4d4ff.

УДК 550.837

DOI:10.7242/echo.2023.4.11

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ
ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ЕСТЕСТВЕННОГО ПОЛЯ
НА КАЛИЙНО-МАГНИЕВЫХ РУДНИКАХ**Ю.И. Степанов¹, И.Л. Кузнецов², Е.С. Зубрикова¹, А.А. Тайницкий¹¹Горный институт УрО РАН, г. Пермь²ПАО «Уралкалий»

Аннотация: Метод естественного электрического поля является одним из первых (Р.В. Фокс 1830), и стал отправной точкой развития многочисленных методов электроразведки. Он применяется для решения различных задач как в наземном, так и в скважинном и шахтном вариантах. Этому методу посвящено много фундаментальных и прикладных исследований. В то же время изучению возникновения естественного поля в подземных выработках соляных месторождений и его практическому применению посвящено малое количество исследований.

Ключевые слова: электроразведка, метод естественного электрического поля, рудники, калийно-магниевого месторождения, надсоленая и соляная толщи, диффузия, фильтрация.

Введение

Метод естественных электрических полей (ЕП) – один из старейших геофизических методов (Фокс, 1830). По генетическому признаку различают электрохимические, электрокинематические и диффузионные естественные поля. Необходимым условием возникновения естественного поля является наличие контакта твердой и жидкой фазы горных пород [1-2]. Как правило, ЕП узлокализировано в пространстве, его интенсивность изменяется от первых до сотен милливольт. Долгое время метод ЕП применялся в наземном варианте для поисков и оконтуривания рудных месторождений. С течением времени естественные электрические поля, обусловленные не природными электронными проводниками (фильтрационные, диффузионные, ранее рассматриваемые как помехи), стали предметом специальных исследований и начали использоваться для решения практических задач при изучении слабопроводящих объектов, для решения гидрогеологических и инженерно-геологических и других задач (Семенов А.С., 1980, Огильви, Титов В.К., 2003). Впервые попытки изучения рудных естественных полей в подземных горных выработках предприняты в 19 веке (Фокс R.W.). Начиная с 50-х годов