

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Балк П.И., Долгаль А.С., Мичурин А.В. Смешанный вероятностно-детерминистский подход к интерпретации данных гравirazведки, магниторазведки и электроразведки // Докл. Акад. наук. – 2011. – Т. 438, № 4. – С. 532-537.
2. Балк П.И., Долгаль А.С., Мичурин А.В., Тайницкий А.А., Христенко Л.А. Подавление знакопеременных помех при инверсии данных вертикального электрического зондирования // Вестн. Перм. ун-та. Сер. Геология. – 2016. – Вып. 2 (31). – С. 55-63.
3. Колесников В.П. Основы интерпретации электрических зондирований. – М.: Науч. мир, 2007. – 247 с.
4. Тайницкий А.А., Кичигин А.В. Оценка метода МЭР и традиционного метода решения обратной задачи // Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей: материалы конф. / Ин-т геофизики УрО РАН [и др.]. – Екатеринбург, 2019. – С. 243-246. – (Десятые науч. чтения памяти Ю.П. Булашевича).
5. Электроразведка методом сопротивлений / под ред. В.К. Хмелевского, В.А. Шевнина. – М.; Изд-во МГУ, 1994. – 160 с.

УДК 550.312

DOI:10.7242/echo.2020.2.14

## РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ПРЯМОЙ ЗАДАЧИ ГРАВИРАЗВЕДКИ НА СФЕРИЧЕСКОЙ ЗЕМЛЕ

В.В. Хохлова

*Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

**Аннотация:** Изучены существующие и создан новый метод решения прямой задачи гравirazведки для топографических масс с учетом сферичности Земли. 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.

Проведена оценка искажений гравитационных аномалий, возникающих при игнорировании криволинейности земной поверхности. На модельных примерах показано, что возникающие при этом погрешности могут достигать 5% от максимальной амплитуды аномалии. В качестве оценки снизу предложено использовать разность радиальной и вертикальной составляющих силы тяжести в точках измерений, обусловленных одним и тем же пространственным распределением масс.

Создана программа для ЭВМ «Первичная обработка гравиметрических данных», в которой реализовано два глобальных способа вычисления аномалии силы тяжести: по стандартному графу обработки (описан в Инструкции по Гравirazведке) и по новым стандартам (Hinze W.J. et al., 2005 "New standards for reducing gravity data").

**Ключевые слова:** гравirazведка, сферический параллелепипед, радиальная составляющая, обработка полевых данных.

С целью совершенствования теории обработки и интерпретации геофизических полей созданы современные технологии, которые реализуют принципиально новый подход к получению исходной информации для решения широкого круга геологических задач. Основной задачей исследований в рамках данной проблемы является научное обоснование и разработка методов учета сферичности Земли при решении прямой задачи гравиметрии.

Об актуальности задачи учета криволинейной поверхности Земли говорят ранее проведенные исследования по изучению ошибок, вызванных идеализацией формы Земли на стадии ввода поправок при редуцировании полевых гравиметрических данных. Ряд ученых (Takin M., Talwani M., 1966; Karl J.H., 1971; Vanicek P. et al., 2001; Гордин В.М., 1974; Лукавченко П.И., 1961, Ремпель Г.Г., 1980; Каленицкий А.И., Смирнов В.П., 1981) указывали на важность учета сферичности. Также следует учесть, что гравиметрическое и топогеодезическое оборудование постоянно совершенствуется, появляются всё более точные данные о рельефе земной поверхности, увеличиваются

вычислительные мощности компьютеров. Несмотря на все предпосылки, даже алгоритмы наших соотечественников (Лукавченко П.И., 1951, Ремпель Г.Г., 1980, Каленицкий А.И., 1981, Гордин В.В., 1974) так и не были введены в практику проведения обработки и интерпретации гравиметрических работ.

Собрана обширная теоретическая база результатов международных исследований в области учета криволинейности земной поверхности. Произведен анализ существующих способов учета формы Земли с последующим выбором наиболее оптимального по соотношению точности вычислений и затрачиваемых ресурсов.

Разработан новый алгоритм решения прямой задачи гравиметрии на сферической Земле [1, 2, 3]. Отличительными особенностями алгоритма являются:

- в качестве модели Земли используется сфера Каврайского, что является неким компромиссом между сферической и эллипсоидальной моделями Земли. Сферическая модель Земли идеализирует её реальную форму, например, не учитывается полярное сжатие. В то время как использование эллипсоидальной модели значительно усложняет процесс вычисления;
- вычисления проводятся в сферической системе координат (СК). Это наиболее подходящая СК для адекватной аппроксимации топографических масс и геологических тел набором элементарных источников;
- аппроксимация рельефа земной поверхности осуществляется набором сферических параллелепипедов, которые позволяют наиболее точно описать промежуточный слой и рельеф местности;
- использование аналитической модели рельефа (АМР) вместо цифровой. Этот прием позволяет восстанавливать высоту произвольно выбранной точки в пределах АМР вне зависимости от расположения её узлов;
- вычисление радиальной составляющей силы тяжести с помощью адаптивного кубатурного алгоритма, характеризующегося быстродействием и высокой точностью получаемых результатов.

Основной результат выполненных исследований состоит в создании новой компьютерной технологии редуцирования полевых данных высокоточной гравиразведки. Подход к вычислению топографических поправок опирается на представления, близкие к реальной форме Земли. Устранение погрешностей, возникающих при игнорировании криволинейности земной поверхности, позволило перейти на качественно новый уровень обработки, повысить точность построения гравиметрических карт в редукации Буге и цифровых моделей поля, что повышает возможности обнаружения слабоконтрастных и глубокозалегающих аномалиеобразующих объектов. Это необходимо для решения широкого круга прикладных задач разведочной геофизики, связанных с изучением глубинного геологического строения, прогноза и поисков залежей углеводородного сырья и месторождений твердых полезных ископаемых.

Создана программа для первичной обработки гравиметрических данных, в которой реализовано два глобальных способа вычисления аномалии силы тяжести: по стандартному графу обработки (описан в Инструкции по Гравиразведке) и по новым стандартам (Hinze W.J. et al., 2005 «New standards for reducing gravity data»). Во втором способе поправка за промежуточный слой считается с учетом сферичности. Интерфейс программы представлен на рис. 1.

Новые алгоритмы редуцирования позволяют нам адаптировать граф обработки полевых материалов к современным реалиям производства гравиметрических работ. Созданные технологии планируется внедрять в процесс камеральной обработки результатов наземных гравиметрических съемок, проводимых нашей лабораторией по договорам с российскими и зарубежными компаниями.

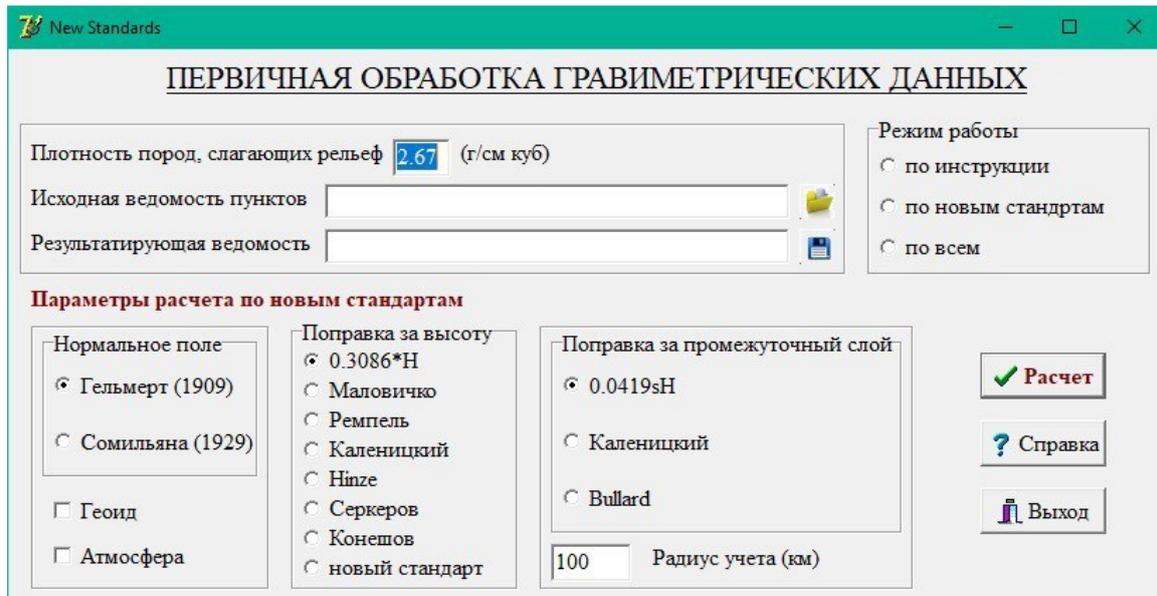


Рис. 1. Интерфейс программы «Первичная обработка гравиметрических данных»

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18–35–00299 мол\_а.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Долгаль А.С., Бычков С.Г., Костицын В.И., Симанов А.А., Хохлова В.В. Моделирование гравитационных эффектов, обусловленных влиянием сферичности Земли // Геофизика. – 2018. – № 5. – С. 50–56.
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. Хохлова В.В. Алгоритм расчета радиальной составляющей силы тяжести // Горное эхо. – 2019. – № 3 (76). – С. 43–45. DOI: 10.7242/echo.2019.3.12.

УДК 550.837

DOI:10.7242/echo.2020.2.15

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА РЕДКИХ СОЧЕТАНИЙ ПРИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ МАЛОГЛУБИННОЙ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ

Л.А. Христенко

Горный институт УрО РАН, г. Пермь

**Аннотация:** Одним из методов безэталонного прогнозирования является метод редких сочетаний (МРС). В МРС каждой точке сети наблюдений соответствует определенная относительная частота встречаемости, рассчитанная как отношение числа значений поля, попадающих в заданный интервал амплитуд, к общему числу точек. Матрицы относительных частот рассчитываются для различных геофизических полей, их трансформант, формализованных геологических признаков. Результативная матрица представляет собой суммарный частотный спектр. Минимальные значения параметра МРС (частоты) отвечают наиболее редким сочетаниям всех использованных признаков. Эффективность использования МРС для электроразведочных параметров была подтверждена сопоставлением его результатов с результатами, полученными ранее методом общего расстояния на участке, расположенном в пределах Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей. Устойчивое выделение областей предполагаемых инженерно-геологических осложнений двумя методами безэталонного прогнозирования, имеющими