

С Е К Ц И Я 3

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ СИСТЕМ

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПОНЯТИЕ БЕСКОНЕЧНОСТИ НИЖНЕЙ КРОМКИ ТЕЛ ПРИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГРАВИМАГНИТНЫХ АНОМАЛИЙ

Аникина О.А., Миронов И.К.

Научный руководитель доцент Е.В. Гусев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Количественная интерпретация гравитационных и магнитных аномалий сейчас обычно ведется методом компьютерного моделирования, то есть подбором сечения аномалиеобразующего объекта до совпадения полевого и теоретического графиков. При этом простые объекты могут аппроксимироваться правильными телами [3, 5], а сложные составляются набором элементарных тел [1, 2]. Эти задачи относятся к неоднозначным. Однако вертикально вытянутые тела большого простирания на глубину при определенных условиях становятся ещё и неустойчивыми – при значительном изменении глубины нижней кромки объекта графики V_{zz} , Z , а иногда и V_z практически не изменяются (рис. 1). В классических учебниках [3, 4, 5, 6] используется понятие бесконечной глубины нижней кромки объекта, но нигде не указываются соотношения глубин нижней и верхней кромки объекта, при которых глубину нижней кромки можно считать практически бесконечной.

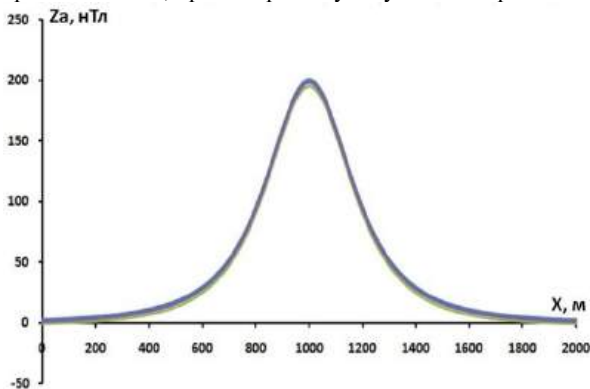


Рис. 1 Графики магнитного поля Z для вертикального цилиндра с глубиной верхней кромки 250 м и глубинами нижней кромки 1250 м, 2500 м и бесконечной.

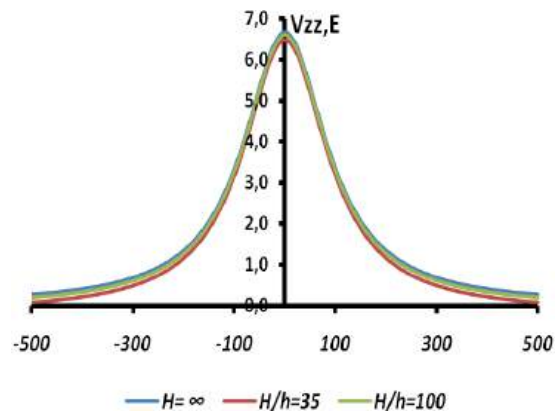


Рис. 2 Графики V_{zz} для вертикального тонкого пласта при бесконечной глубине нижней кромки и отношениях глубин нижней и верхней кромки $H/h=35$ ($\varepsilon=3\%$) и $H/h=100$ ($\varepsilon=1\%$).

Нами выполнены расчеты соотношений глубин нижней и верхней кромок объектов, при которых относительные погрешности (ε , %) расчета графиков V_z , V_{zz} (или Z) отличаются от значений этих параметров при бесконечной глубине нижней кромки на 3 % и на 1 %. При расчетах использовались следующие формулы [5].

1. Вертикальный материальный стержень (шток)

$$V_z = kM \cdot \left(\frac{1}{(x^2 + h^2)^{3/2}} - \frac{1}{(x^2 + H^2)^{3/2}} \right) \quad V_{zz} = kM \cdot \left(\frac{1}{(x^2 + h^2)^{5/2}} - \frac{1}{(x^2 + H^2)^{5/2}} \right) \quad (1)$$

2. Вертикальный тонкий пласт (вертикальная материальная полуплоскость)

$$V_z = km \cdot \ln \frac{x^2 + H^2}{x^2 + h^2} \quad V_{zz} = km \cdot \left(\frac{h}{x^2 + h^2} - \frac{H}{x^2 + H^2} \right) \quad (2)$$

3. Прямоугольный параллелепипед, бесконечный вкrest простирания профиля. В работе [5, с. 353] формула приведена в общем виде. Подставив пределы, получим:

$$V_z = k \cdot \sigma \cdot \left[(L-x) \cdot \ln \frac{(L-x)^2 + H^2}{(L-x)^2 + h^2} - (P-x) \cdot \ln \frac{(P-x)^2 + H^2}{(P-x)^2 + h^2} + H \cdot \left(\operatorname{Arctg} \frac{L-x}{H} \right) - \operatorname{Arctg} \frac{P-x}{H} \right] + \\ + k \cdot \sigma \cdot \left[2 \cdot h \cdot \left(\operatorname{Arctg} \frac{P-x}{h} - \operatorname{Arctg} \frac{L-x}{h} \right) \right] \quad (3)$$

В этих формулах k – гравитационная постоянная, σ – избыточная плотность, M – избыточная масса штока (произведение избыточной плотности на сечение), m – избыточная масса вертикального пласта (произведение избыточной плотности на мощность), h – глубина верхней кромки, H – глубина нижней кромки. Для штока и вертикального пласта формулы записаны при начале координат в эпицентре этих тел, а для прямоугольного параллелепипеда начало координат взято в произвольной точке, где L – расстояние от начала координат до левой грани, P – то же, до правой грани. Для расчета V_{zz} для прямоугольного параллелепипеда использовалась формула, приведенная в работе [5, ф. 14.52]. Расчеты выполнялись по авторским программам на платформе Excel. Правильность работы программ для прямоугольного параллелепипеда проверена по палетке Д. С. Микова [4], относительное расхождение графиков составило 4 %.

Следует заметить, что при малой относительной погрешности в экстремуме, на крыльях аномалии она резко возрастает (рис. 3), что отчетливо видно и на рисунке 2. Однако это возрастание связано со стремлением функции к нулю при малом постоянном абсолютном расхождении расчета V_{zz} в Этвешах (рис. 4) и его можно не учитывать.

Поэтому практически бесконечной можно считать ту глубину нижней кромки, для которой относительная погрешность в экстремуме не превышает 3 % (рис. 2).

Результаты расчетов для разных объектов приведены в таблице.

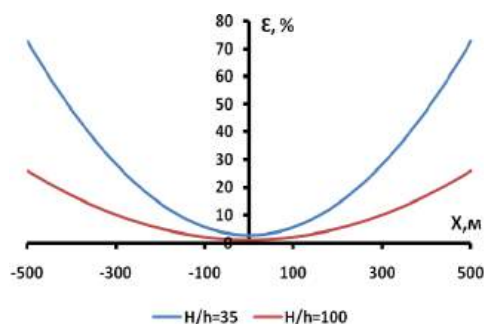


Рис. 3 Графики изменения относительной погрешности на крыльях графика V_{zz} для тонкого вертикального пласта при величинах погрешности в экстремуме 1% ($H/h = 100$) и 3% ($H/h = 35$).

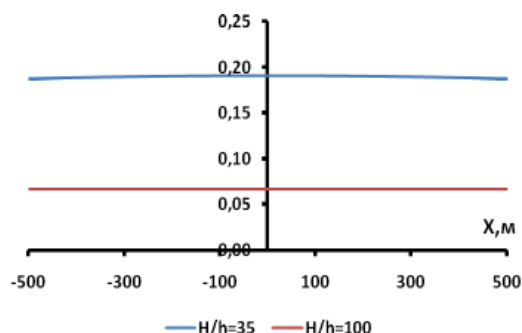


Рис. 4 Графики изменения абсолютного расхождения расчета на крыльях графика V_{zz} (Дабс., E) для тонкого вертикального пласта при величинах погрешности в экстремуме 1% ($H/h = 100$) и 3% ($H/h = 35$).

Таблица

Отношения глубин нижней и верхней кромок объектов, при которых положение нижней кромки с относительными погрешностями 3 и 1 % можно считать практически бесконечной

Форма объекта	Отношение H/h для V_z		Отношение H/h для V_{zz} и Z		Примечание
	При $\epsilon_{отн} = 3\%$	При $\epsilon_{отн} = 1\%$	При $\epsilon_{отн} = 3\%$	При $\epsilon_{отн} = 1\%$	
Вертикальный цилиндр	35	100	6	10	Вертикальный материальный стержень
Вертикальный тонкий пласт	∞	∞	35	100	Вертикальная материальная полуплоскость
Вертикальный маломощный параллелепипед	∞	∞	35	100	Глубина верхней кромки больше мощности пласта
Мощный прямоугольный параллелепипед	∞	∞	70	200	Глубина верхней кромки меньше мощности пласта

Очевидно, что для графиков V_z понятие бесконечной глубины нижней кромки можно ввести только для тонкого вертикального цилиндра (штока), для остальных тел при бесконечной глубине нижней кромки V_z также обращается в бесконечность.

Из приведенных данных следует, что отношение глубин нижней и верхней кромок, при которых объекты можно считать практически бесконечными на глубину, зависит от их мощности – чем больше мощность объекта, тем больше должно быть это отношение. Расчеты проводились для графиков V_z и V_{zz} , но, учитывая пуассоновскую связь гравитационных и магнитных аномалий, все выводы, касающиеся графиков V_{zz} , при вертикальной намагниченности можно отнести и к графикам магнитного поля Z (или ΔT).

Литература

1. Бычков, С. Г. Детальная гравиразведка на современном этапе [Текст] / С. Г. Бычков // Геофизика. – 2011. – № 5. – С. 40–45.
2. Бычков, С. Г. Методы обработки и интерпретации гравиметрических наблюдений при решении задач нефтегазовой геологии [Текст] / С. Г. Бычков. – Екатеринбург: УрО РАН, 2010. – 187 с.
3. Логачев, А. А. Магниторазведка [Текст]: учеб. для вузов / А. А. Логачев, В. П. Захаров. – 5-е изд., перераб. и доп. – Л.: Недра, 1979. – 351 с.
4. Миков, Д. С. Методы интерпретации магнитных аномалий [Текст]: учеб. пособие / Д. С. Миков. – Томск: Изд-во ТГУ, 1975. – 180 с.
5. Миронов, В. С. Курс гравиразведки [Текст]: учеб. для вузов / В. С. Миронов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Недра, 1980. – 543 с.
6. Тафеев, Г. П. Геологическая интерпретация магнитных аномалий [Текст] / Г. П. Тафеев, К. П. Соколов. – Л.: Недра, 1981. – 327 с.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕЩИНОВАТОСТИ СКАЛЬНЫХ ОТКОСОВ ПО СНИМКАМ
С БПЛА ДЛЯ ОЦЕНКИ ОБВАЛЬНОЙ ОПАСНОСТИ**

Гантимурова С.А.^{1,2}

Научный руководитель профессор А.В. Паршин

¹*Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск, Россия*

²*Институт «Сибирская школа геонаук» ФГБОУ ВО Иркутского национального
исследовательского технического университета, г. Иркутск, Россия*

Нестабильные скальные склоны, подверженные обвалам и осыпям, представляют значительную угрозу инфраструктуре, особенно в горных геодинамически активных регионах [1]. Картирование подверженности обвалам и осыпям остается сложной задачей из-за большого комплекса переменных, вызывающих обвалы, а также многообразия размеров и форм, которые они могут принимать. Факторами, вызывающими обвалы, являются климатические и погодные условия, тектонические движения, антропогенное воздействие (например, вырубка лесов и деградация растительности). Условия, способствующие этому, включают геологические, геоморфологические, гидрогеологические свойства и характер земного покрова.

Территория исследования гористая с крутыми скалистыми склонами, граничащими с Кругобайкальской железной дорогой с одной стороны и озером Байкал с другой. Возможности натурных наблюдений и измерений весьма ограничены, так как склоны находятся на территории охраняемого объекта, здесь нельзя сойти на берег или провести какие-либо работы без специальных разрешений. Невозможность пешего обследования обусловлена как физической транспортной недоступностью, так и сложностью получения разрешения. Применение методов дистанционного зондирования, в частности, съемок с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), для определения подверженности склонов к обвалам обладает преимуществами в возможности получения точной и детальной информации о морфологии и состоянии склонов, а также в способности детектировать и анализировать динамику этих процессов на больших территориях.

В рамках исследования по оценке подверженности склонов к обвалам и камнепадам дистанционными методами использован подход, включающий в себя пять этапов: фотограмметрическую обработку изображений с БПЛА, создание трехмерного облака точек, морфометрический анализ склона, геоинформационное моделирование и картирование подверженности склонов к обвалам и камнепадам [2]. Для сбора геопространственных данных использованы БПЛА, оснащенные камерами высокого разрешения. В частности, для съемки использовался гексакоптер SibGIS с двухосным подвесом камеры и двумя камерами Mapir Survey 3 по 12 МП (RGB и OCN). Камеры были синхронизированы для захвата изображений, съемка проводилась под двумя углами наклона (45° и 90°) по ранее разработанной методике [4]. Изображения, собранные с этих камер, затем обрабатывались для получения необходимых параметров для анализа. Характеристики склона, такие как угол, неровность и кривизна, извлекаются из цифровой модели рельефа. Все слои геопространственных данных накладываются в ГИС с использованием модели взвешенной суммы для создания карты подверженности. Исследование проводилось в рамках практического проекта, одной из задач была разработка быстрого подхода, поскольку область исследования была обширной и территория, приведенная в статье в качестве примера, является лишь одной из многих. Для оптимизации затраченного времени и одновременно повышения точности локализации опасных зон была поставлена задача добавить к геоморфологическим параметрам слой с плотностью трещин и слой с нависающими блоками. Ориентации каменных откосов извлекаются из плотного облака точек. Трещиноватость горных пород определяется по снимкам высокого разрешения.

Плагин Network GT в QGIS используется в этом исследовании для производства слоя плотности трещин [3]. Двоичная фотография склона в оттенках серого используется в качестве входных данных для автоматической отрисовки трещин (рис.). Выбор пороговой обработки является первым шагом в сегментации изображения, которая представляет собой процесс разделения изображения на объекты. Выбрав подходящее пороговое значение, мы можем эффективно разделить пиксели переднего и заднего плана, улучшая точность последующих этапов анализа и обработки. В данном исследовании метод адаптивного порогового определения признан наиболее подходящим для сегментации изображений. Адаптивное определение порога — это метод, который вычисляет пороговое значение для каждого пикселя на основе локального окружения. Это позволяет лучше