

## НОВЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ГЛУБИННЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ: РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕСТИРОВАНИЯ ВЕРТОЛЕТНОЙ ZTEM™ - ГРАВИМЕТРИЧЕСКОЙ - МАГНИТНОЙ СИСТЕМЫ НА КУПОЛЕ ВРЕДЕФОРТ, ЮЖНАЯ АФРИКА

### ВВЕДЕНИЕ

В 2016 году компания Geotech провела тестовую вертолетную съемку с гравиметром GT-2A в сочетании с ZTEM™ (Z-Компонентная Типпер Электромагнитная система) и аэромагнитной съемкой над метеоритной структурой Купол Вредефорт в Южной Африке. Съемка состояла из девяти (9) линий полета длиной приблизительно 70 км северо-западного простираения, общей протяженностью 640 км, с межпрофильным интервалом в 500 м на площади около 650 км<sup>2</sup>. Успешные испытания демонстрирует важность интеграции аэрогравиметрии с технологией глубинного электромагнитного исследования ZTEM™ и аэромагнитной съемки.

### ZTEM™-ГРАВИМЕТРИЧЕСКАЯ-МАГНИТНАЯ СИСТЕМА

Компания Geotech выполняет коммерческие вертолетные съемки с системой естественного электромагнитного поля ZTEM™ с 2007 года. В результате проведенных съемок было доказано, что ZTEM™ является наиболее эффективной технологией картирования удельных сопротивлений с наибольшей глубиной исследования (> 1 км) среди всех существующих аэрогеофизических электромагнитных систем. Недавняя модификация системы заключалась в том, что интегрированная гондола с ZTEM приемником и магнитным датчиком, разработанная для самолетов, была адаптирована для использования с вертолетом (рисунок 1). В силу легкого веса и аэродинамических свойств самолетного варианта ZTEM гондолы полеты стало возможно выполнять с более высокой скоростью, тем самым повышая производительность аэросъемки. Расположение цезиевого магнитометра внутри гондолы (рисунок 1) приблизило его к поверхности земли, что значительно повышает его чувствительность к геологическим объектам. Кроме того, поскольку система ZTEM™ является "пассивной" и не включает генератора электромагнитного сигнала, обеспечивается исключительно низкий уровень шума при регистрации магнитных данных, и тем самым качество магнитных данных превосходит качество магнитных данных полученных магнетометрами установленными в электромагнитных системах имеющие генераторы, а также самолетные системы с жестким креплением магнитометра, которые требуют удаления эффектов, индуцированных воздушным судном.

В результате новейших разработок, интегрированная вертолетная ZTEM™ и аэромагнитная система с буксируемой гондолой была успешно сопряжена с авиационным гравиметром GT-2A, установленным на борту вертолета Astar AS350 B3. Природа плоских волн, измеряемых с помощью системы ZTEM™ делает ее относительно нечувствительной к полетам на больших высотах и, таким образом, идеальной для интегрирования с аэрогравиметрическими исследованиями, выполняемыми на постоянной высоте, для того чтобы свести к минимуму влияние вертикальных ускорений воздушного

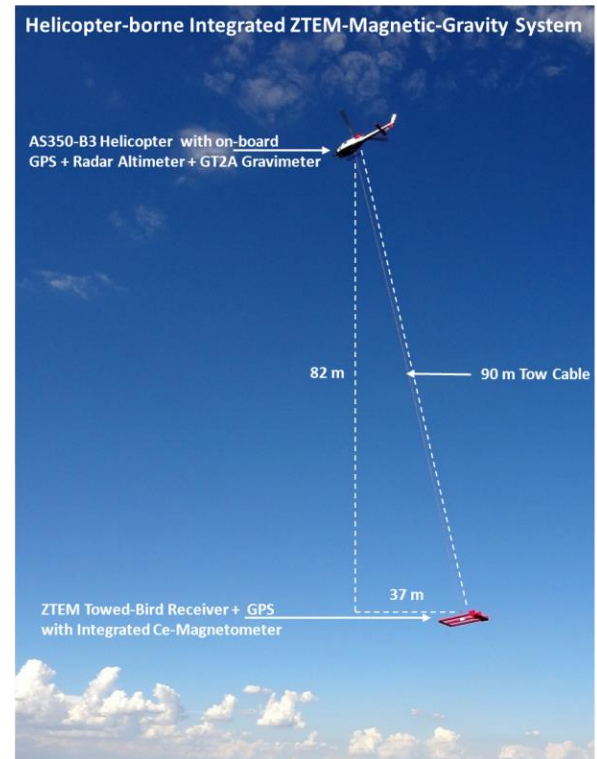


Рис. 1: Вертолетная ZTEM™- гравиметрическая –магнитная система в полете

судна. Таким образом, вертолетная ZTEM-Гравитационная-Магнитная система позволяет одновременно получать информацию об удельном сопротивлении, плотности и магнитных свойствах территории, предоставляя ранее недоступные возможности для эффективных, многопараметрических и глубинных геофизических исследований.

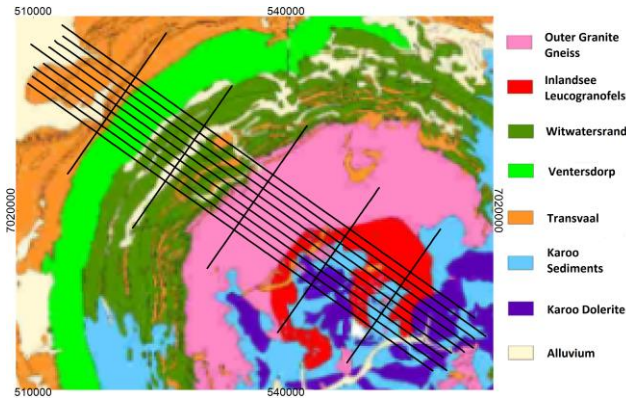
Для того, чтобы продемонстрировать преимущества этого интегрированного аэрогеофизического комплекса, компания Geotech успешно выполнила тестовую съемку известного Купола Вредефорт в Южной Африке, который неоднократно изучался с использованием геофизических методов; в первую очередь методом авиационной гравитационной градиентометрии.

### ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ И ПЛОЩАДИ СЪЕМКИ

Авиационный Гравиметр GT-2A был установлен в кабине вертолета AS350-B3 совместно с системой сбора данных Geotech. Гондола с приемником системы ZTEM™ и цезиевым магнитометром буксировалась во время полета с номинальным расстоянием 82 м ниже вертолета, как показано на рисунке 1. Была установлена постоянная высота съемки 1825 м над геоидом, для минимизации влияния вертикальных ускорений на гравиметр, и безопасного полета над самой высокой точкой местности в зоне съемки. Высота датчика ZTEM™ изменялась в пределах 110-420 м над землей. Из-за отсутствия

необходимости оконтуривания рельефа местности, скорость полета была увеличена до 130 км / ч, т.е. на 30 км/ч быстрее, чем для стандартной ZTEM™ съемки, с такой же устойчивостью вертолета и продолжительностью полета.

Съемка выполнялась над северо-западной частью Купола Вредефорт (рисунок 2), недалеко от городов Вредефорт, Почефструм и Парис, Южная Африка, примерно в 120 км к юго-западу от Йоханнесбурга. Были выполнены девять линий полета длиной 70 км, с межмаршрутным интервалом в 500 м с азимутом 135°, а также пять 20-километровых ортогональных опорных линий с расстоянием 10,000 метров между ними.



**Рис. 2.** Линии полетов на геологической карте Купола Вредефорт (Cowan и Cooper, 2009)

### ТЕРРИТОРИЯ КУПОЛА ВРЕДЕФОРТ

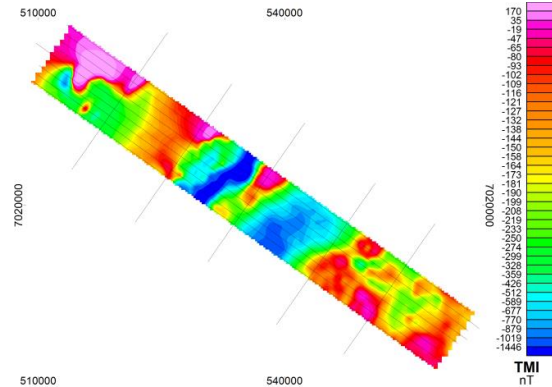
Купол Вредефорт представляет собой сложную структуру с диаметром ~ 80 км, расположенную в Каапваал Кратоне, образовавшуюся в результате удара большого метеорита 2.02 млрд. лет назад (Cowan & Cooper, 2009. ASEG Расширенные тезисы, стр. 4.), о чем свидетельствует шоковый метаморфизм и брекчии, расплавленные вследствие удара. Ядро центрального Купола 40 км в ширину состоит из высокосортных мигматических гнейсов среднего архейского возраста 3.1-3.2 млрд. лет, мощностью от 25 до 36 км, таким образом, потенциально обнажая Палео-Мохо в своем центре (Lana и др., 2003, Earth and Planetary Science Letters, 206, 133-144). Фанерозойские отложения и долеритовые силлы перекрывают купол с юга и юго-востока.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕСТОВОЙ СЪЕМКИ

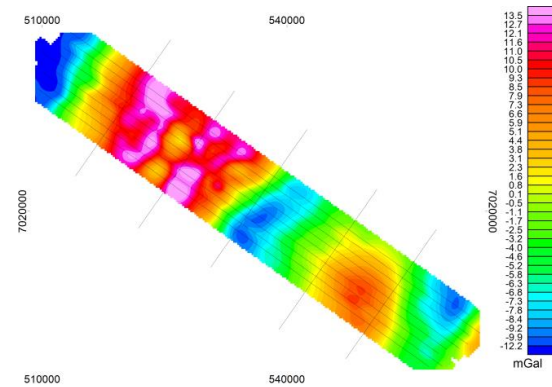
Аэромагнитные и гравитационные данные, полученные совместно с данными ZTEM™ (Рисунки 3 и 4) показывают отличную корреляцию с ранее полученными данными по структуре купола Вредефорт. Низкочастотное 37 Гц синфазное TPR изображение (рисунок 5) дополняет информацию о плотности, полученную по гравиметрическим данным, и аэромагнитные данные, обеспечивая ясное представление о строении ударной структуры на глубине.

### ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ГРАВИМЕТРИИ ПО ПОВТОРНЫМ ЛИНИЯМ

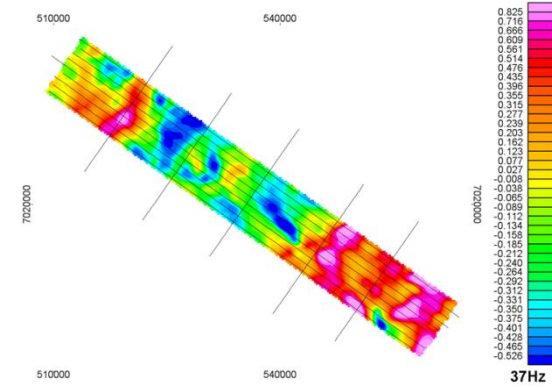
Полет по линии L1040 в центре района съемки, был выполнен четыре раза, чтобы продемонстрировать повторяемость измерений силы тяжести при полетах с системой STEM™. Для подавления шумов, связанных с движением воздушного судна и турбулентностью был применен 150-секундный Фильтр Калмана. Графики аномалий силы тяжести для каждого прохода показаны на рисунке 8. RMS ошибки повторных измерения составила 0,68 мГал.



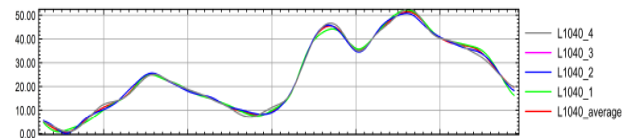
**Рис. 3:** Карта аномального магнитного поля (нТл)



**Рис. 4:** Гравитационные аномалии в редукции Буге (мГал)



**Рис. 5:** Результаты ZTEM™ съемки. Полный фазовый сдвиг (TPR) синфазного типпера на частоте 37Hz



**Рис. 6:** Графики аномалий силы тяжести повторных наблюдений по линии L1040.