

Несейсмические методы

Создание платформы много-датчикового разведочного оборудования для близповерхностных геофизических приложений. Development of a multi-sensor exploration equipment platform for shallow geophysical applications

Chris Leech,¹ Geomatrix Earth Science, и Ian Hill,² Факультет Геологии Университета Leicester, дают описание проекта развития мобильной платформы разведочного оборудования для малоглубинных геофизических съемок.

За прошедшие два десятилетия с появлением дешевого микропроцессора и технологии запоминающих устройств RAM полевая геофизическая аппаратура для исследования малых глубин под поверхностью земли позволяет сократить цикл измерений и проводить их на ходу (когда оператор движется). В то же время приходит все более глубокое понимание того, что окно дискретизации для маленьких участков съемки при уточнении деталей на малых глубинах приводит неизбежно к появлению ложных аномалий, или в случае археологических или экологических изысканий (съемок) – к пропуску объектов.

В этой статье кратко описывается проект разработки разведочного геофизического оборудования (GEEP - Geophysical Exploration Equipment Platform) под руководством Ian Hill на кафедре геологии университета Leicester при поддержке компании Geomatrix Earth Science с тем, чтобы максимально использовать возможности быстрой (скоростной) съемки при помощи современного оборудования и обеспечить общее повышение качества данных при одновременном увеличении финансовой эффективности геофизических исследований малых глубин.

Начальный этап

Проект FIESTA, финансируемый Министерством торговли и промышленности Великобритании (DTI) Foresight LINK, разработавший в начале 2000 г концепцию во главе с Британской Геологической Службой и Университетом Leicester, предоставил шанс использовать возросшую скорость полевых съемок совместно с современными высокоточными устройствами позиционирования в реальном времени, установив их на небольшой платформе, которая может быть буксируема небольшим транспортным средством.

FIESTA – трехлетний проект, направленный на выработку целостного подхода к поискам и разведке флюоритов и баритов в районах с хрупким экологическим равновесием. Проект включал геохимический анализ, поверхностное геологическое картирование, наземные геофизические исследования и повторную обработку существующих аэрогеофизических съемок. Быстро выяснилось, что при геофизическом картировании в районах с хрупким экологическим равновесием важно осуществлять минимальное повреждение (нарушение, вмешательство), при этом будучи уверенными, что исследования проведены с получением максимально подробной информации. Обе эти цели могут быть достигнуты размещением нескольких датчиков на одной платформе, которые быстро и одновременно будут записывать два и более параметров, что даст следующие выгоды:

- Сокращение времени съемки, что приведет к уменьшению стоимости съемки или покрытию большей территории за те же деньги
- Многопараметровые наборы данных, записанных синхронно (одновременно), что повысит качество интерпретации
- Высокоточное позиционирование в режиме реального времени, что гарантирует запись данных различными методами в одних точках в одно время, еще более повышая точность интерпретации
- Исключаются создаваемые оператором шумы, также повышая точность данных
- Исследования больших площадей могут быть экономически приемлемыми, в то время как «грубая» съемка для некоторых геофизических параметров оказывается нерентабельной.

В ходе работы нужно было имитировать аэро- или морские съемки, но на суше. Некоторые проблемы были аналогичны таковым для других типов непрерывных исследований, например одновременная запись нескольких параметров и позиционирование в реальном времени, но другие аспекты, такие как существование помех в районе съемки, топографических и созданных человеком объектов, ограничивающие план съемки и направление движения в ходе работы, являются специфическими для наземной съемки и создающими свой собственный ряд проблем.

Поставленные нами при создании мобильной регистрирующей платформы цели могут быть сформулированы следующим образом:

- Способность регистрировать набор параметров одновременно с нескольких различных приборов плюс информацию прибора позиционирования
- Способность регистрировать последовательность отсчетов при различной скорости их поступления
- Регистрирующая платформа должна быть геофизически невидимой
- Платформа должна легко переоборудоваться для решения различных прикладных задач
- Оператор должен в реальном времени иметь возможность проводить контроль качества
- Перемещение платформы не должно вносить помехи в данные
- Навигационная информация должна быть предоставлена водителю транспортного средства, (на котором смонтирована регистрирующая платформа), чтобы способствовать полному покрытию данными района работ
- Работа регистрирующей платформы не должна наносить ущерб району съемки чуткому к окружающей среде

¹ chris@geomatrix.co.uk.

² iah@le.ac.uk.

■ Система должна иметь короткое мобилизационное время и быть надежной и защищенной от непогоды.

■ Конечный результат должен быть представлен набором данных формата ASCII CSV, где каждое измерение каждого параметра имеет собственное положение XYZ и, таким образом, легко может переноситься на карту и в интерпретационные и обрабатывающие модули

Некоторые из этих целей были достигнуты довольно быстро, в то время как другие все еще являются предметом продолжающихся исследований для улучшения всего процесса сбора данных.

Так как наземные геофизические исследования могут быть намного больше ограничены по стоимости, чем аэросъемки, в финансовом отношении нецелесообразно монтировать датчики непосредственно на транспортном средстве и вводить поправки за влияние этого транспортного средства на измеряемые характеристики, а потом получать измерение, обусловленное геологическими факторами в этой точке. Поэтому было решено создать небольшие сани, на которых можно было бы монтировать датчики. Сани имеют преимущество над колесными тележками, сглаживая небольшие неровности поверхности земли, такие как вспаханное поле, таким образом, убирая шум, вызванный передвижением. Их также проще соорудить, чтобы они были в геофизическом отношении невидимыми. Хотя для археологических съемок уже существуют колесные тележки (см. для сравнения данные Wgoxeter), немагнитные и неэлектропроводные колеса и оси требуют затрат при изготовлении и приводят к эксплуатационным расходам, связанным с поддержанием в рабочем состоянии каждой детали.

Стоимостные ограничения и желание иметь слабое воздействие в геофизическом и экологическом отношении полевого транспортного средства привели нас к решению использовать в качестве буксира небольшой трактор. Следует подчеркнуть, что неизменный требованием всегда было то, что буксир – это независимая часть системы GEEP, и она может быть приобретена на месте или выбрана специально в соответствии с условиями конкретной местности.

Разделение аппаратной платформы и буксирующего транспортного средства, однако, представляет свои собственные проблемы: платформа должна быть снабжена энергией, точно позиционирована и иметь выход данных в реальном режиме времени для оперативных QC результатов.

Когда регистрируются одновременно два или более геофизических параметров, становится важным высокое качество данных. Поскольку возможно получить обширные объемы данных в короткое время, неполадки в работе аппаратуры или позиционирующего устройства, вовремя незамеченные, могут привести к получению обширного объема бракованных данных; поэтому первостепенным является четкое представление о данных, записываемых в текущий момент, и деятельность полевого оператора. Так как полевой оператор не может быть также водителем буксировщика, выходом может быть непрерывная телеметрическая передача данных на локальную базовую станцию, где полевой геофизик будет осуществлять контроль качества.

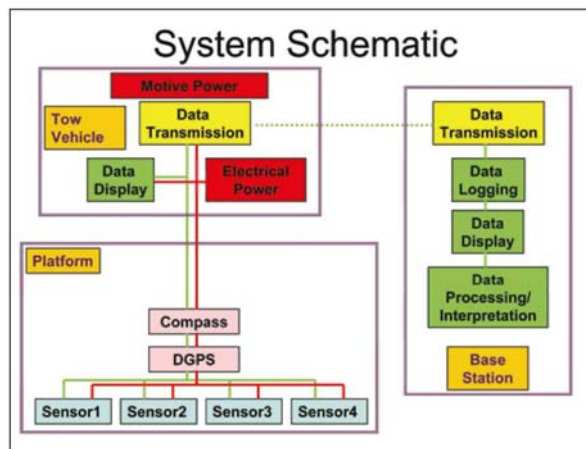


Рис. 1 Схематическое изображение GEEP

Идея GEEP развивалась вместе с FIESTA, где буксируемая платформа была соединена гибким кабелем к небольшому буксирующему трактору, на котором находилось накопительное устройство для данных, в свою очередь соединенное с телеметрической системой.

Эта система передает весь поток регистрируемых данных вместе с информацией GPS на базовую станцию, предоставляя водителю заниматься только навигационными задачами. Появление дешевой технологии беспроводной связи, использующей запись разговоров в 802.11b, обеспечило готовое и, несомненно, подходящее оборудование, готовое к поставке. Типичная установка изображена на рис. 1.

Обширные исследовательские работы вплоть до аэрогеофизических съемок с многодатчиковым магнитометром Caesium Vapour были успешно проведены в ходе проекта FIESTA. Были собраны данные ЕМ электропроводности и спектрометрии Gamma Ray, пример одного из районов съемки приведен на рис. 2.

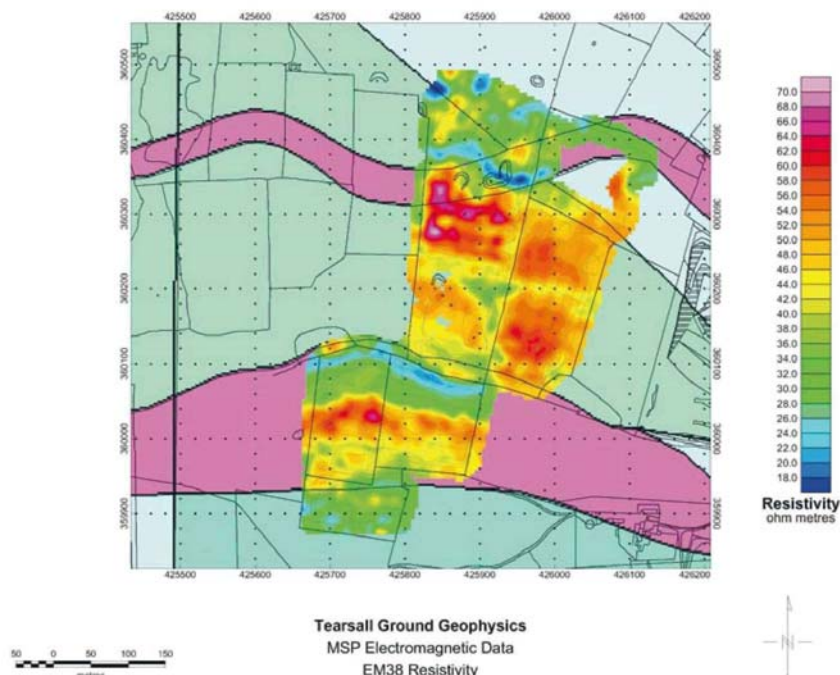
В процессе работы в FIESTA были выработаны приемы осуществления съемки, которые в настоящее время стали стандартными. В начале съемки, где возможно, по внешнему периметру участка производится съемка по нескольким концентрическим линиям на некотором расстоянии друг от друга. Затем с какого-то места направление меняется и съемка производится по параллельным линиям, пересекающим участок, до тех пор, пока не будет обеспечено достаточное покрытие всей площади. Для дополнительного контроля качества затем проведены секущие или связующие профили под углом 90° к первоначальному параллельным профилям съемки. Такая методика съемки может ясно просматриваться в большинстве полевых съемок и представлена на рис. 3.

Идея GEEP развивалась вместе с FIESTA, где буксируемая платформа была соединена гибким кабелем к небольшому буксирующему трактору, на котором находилось накопительное устройство для данных, в свою очередь соединенное с телеметрической системой.

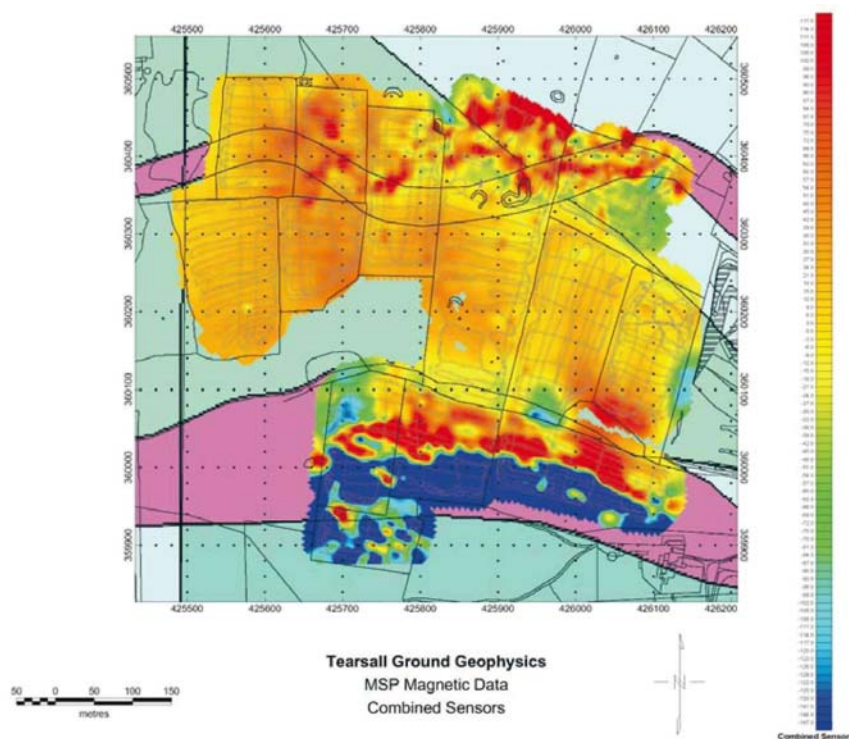
Эта система передает весь поток регистрируемых данных вместе с информацией GPS на базовую станцию, предоставляя водителю заниматься только навигационными задачами. Появление дешевой технологии беспроводной связи, использующей запись разговоров в 802.11b, обеспечило готовое и, несомненно, подходящее оборудование, готовое к поставке. Типичная установка изображена на рис. 1.

Обширные исследовательские работы вплоть до аэрогеофизических съемок с многодатчиковым магнитометром Caesium Vapour были успешно проведены в ходе проекта FIESTA. Были собраны данные ЕМ электропроводности и спектрометрии Gamma Ray, пример одного из районов съемки приведен на рис. 2.

Несейсмические методы



А



В

Рис. 2 Удельная электропроводность EM (2a) и карта полного магнитного поля (2b) для объекта Tearsall Moor, полученные одновременно с GEEP. Более раннее геологическое картирование положения двух базальтовых силлов неточно совпадает с данными съемки GEEP. А – наземная геофизическая съемка Tearsall, электромагнитные данные MSP, удельное сопротивление EM38; В – наземная геофизическая съемка Tearsall, магнитные данные MSP, комбинированные датчики.

Несейсмические методы

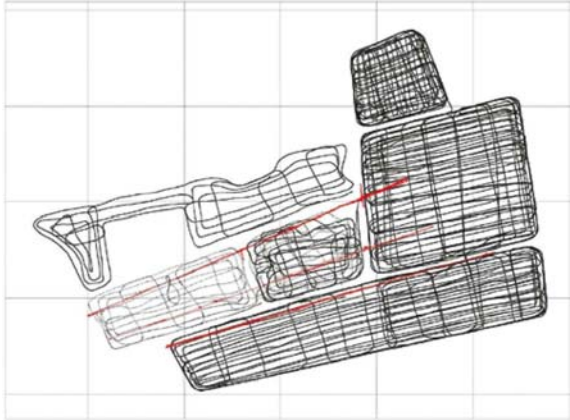


Рис. 3 Профили полевой съемки на типичном месторождении, проведенные в ходе проекта FIESTA. Красным цветом показано положение 20 профилей томографии удельного сопротивления, полученных для увязки с картированием GEEP. Полевые профили четко опознаются пробелами профилей, а световым оттенком ситуации по мобильной наземной съемке.

В процессе работы в FIESTA были выработаны приемы осуществления съемки, которые в настоящее время стали стандартными. В начале съемки, где возможно, по внешнему периметру участка производится съемка по нескольким концентрическим линиям на некотором расстоянии друг от друга. Затем с какого-то места направление меняется и съемка производится по параллельным линиям, пересекающим участок, до тех пор, пока не будет обеспечено достаточное покрытие всей площади. Для дополнительного контроля качества затем проведены секущие или связующие профили под углом 90° к первоначальным параллельным профилям съемки. Такая методика съемки может ясно просматриваться в большинстве полевых съемок и представлена на рис. 3.

Чтобы ограничить затраты на разработку и сконцентрироваться на задачах аппаратного обеспечения, первая (исходная) платформа GEEP работала с коммерческим программным обеспечением, предназначенным для регистрации данных. Это программное обеспечение было изначально создано для аэросъемок и предполагало запись и изображение нескольких параметров вместе с данными позиционирования бортовой системы DGPS. Однако, такая система предполагает жесткую связь датчиков с записывающими устройствами.

В системе GEEP мы имеем беспроводную связь LAN или WiFi между двумя частями системы, что показано на рис. 1, и как показывает опыт проведения полевых работ, это может привести к ошибкам в данных. При любой системе с несколькими датчиками, которые регистрируют данные с разной частотой и обычно имеют свои внутренние неточные часы, основная проблема состоит в привязке каждого отсчета к собственным координатам XYZ. На начальном этапе проблема возникала, когда мобильная платформа выходила за пределы видимости базовой станции, и беспроводной радиоприемник LAN временно терял связь; в общем случае проблема возникает, если местность имеет какой-либо топографический рельеф или препятствия. Когда связь восстанавливается, данные буферного блока переносного приемника LAN отправляются на блок LAN базовой станции и система сама по себе «догоняется», восстанавливается, в результате чего возникают погрешности во временном отображении данных между действительным временем измерения и временем их регистрации на диск. Это послужило причиной требующего много времени и лишнего дополнительного этапа обработки, который должен быть

выполнен на каждом массиве данных, и было принято решение существенно изменить аппаратное обеспечение, чтобы исправить данные GEEP.

В новой конструкции оборудование, записывающее данные регистрации, вместе с большим буфером памяти для временного хранения данных располагается непосредственно на буксирующем транспортном средстве, это устройство называется DaTEM (акроним “data transmission and memory”). В DaTEM каждой точке присваивается своя временная метка GPS на мобильной платформе, прежде чем она будет передана по беспроводной LAN. Прекращение временной связи все еще имеет место, но, так как данные каждой точки уже зафиксированы точно по времени, дополнительный этап обработки приобретенных данных исключается. Новая конструкция аппаратного обеспечения оптимизировала всю систему, делая ее более надежной и уменьшая время на подготовку к работе и завершение работы на месте, что важно для повышения эффективности при отработке небольших участков съемки.

Новое аппаратное обеспечение также требует нового программного обеспечения. GEEPlog, новый пользовательский интерфейс и оперативная память системы GEEP, является заранее заказываемым программным обеспечением для регистрации данных. Оно специально приспособлено для полевого пользователя и предоставляет пошаговую помощь в процессе установки; окно навигации показывает текущее положение платформы; в реальном времени показываются времена отсчетов, производимых всеми датчиками; имеются другие кнопки состояния системы, которые позволяют наблюдателю делать выводы о качестве записываемых данных.

Постпроцессор

Быстро стало ясно, что возможность одновременно регистрировать разнообразные массивы данных является только частью проблемы. GEEP получает большие объемы данных в таком виде, чтобы они могли быть переданы в стандартные геофизические пакеты картопостроения. Во многих, ранее проведенных исследованиях, это управление происходило вручную, трудоемкий процесс, который привел Университет Leicester к разработке собственной программы постпроцессора GEEP. Это полуавтоматическая программа, которая получает необработанные полевые данные из GEEPlog в виде файлов и выдает файлы ASCII, которые можно импортировать в картопостроительные системы для дальнейшей обработки и печати.

Необработанный выходной файл из GEEPlog проектируется как комплексный, содержащий всю системную информацию и зарегистрированные геофизические данные в открытом и легко доступном формате. Это текстовый формат ASCII с CSV (разделитель – запятая). Этот выходной файл содержит все необходимые данные для последующей обработки, навигационное позиционирование и информацию по каждому датчику. Файл можно читать в notepad, Excel или более специализированных пакетах обработки, таких как OASIS. ASCII формат ведет к огромному размеру файла во много Mb, но благодаря открытому и совместимому формату данных расценивается как незначительный недостаток в объеме памяти.

Поскольку данные затем могут быть обработаны пользователями в соответствии с предпочтительным для них способом извлечения GPS позиционирования и ряда необработанных данных датчиков, это может быть длительным процессом. По этой причине с целью обеспечения пользователя простым методом представления модуль постпроцессора записывает выходной файл по

Несейсмические методы

каждому датчику по возможности так же близко, как и в формате XYZ, имеющем координаты позиционирования и значения данных для этого датчика. Однако, процедура не является простой и включает две самостоятельные операции. Первая заключается в создании координат положения для отдельного датчика, а вторая – в анализе отдельной строки (последовательности) датчика. Дополнительным пунктом здесь является то, что для некоторых датчиков, в частности полного магнитного поля, должна быть загружена базовая станция, и значения базовой станции необходимо объединять в выходном файле с данными для соответствующего датчика. Относительно данных позиционирования координаты GPS WGS84 легко извлекаются из NMEA GGA. Они используются для вычисления значений азимута и скорости для саней GEEP, которые могут быть сопоставлены с компасными данными в целях гарантии качества. Перемещения отдельных датчиков накапливаются на антенне GPS в файле конфигурации, с которого считываются соответствующие данные. Эти данные перемещения в координатной рамке саней GEEP объединяются с компасными данными для расчета географических координат и высот для каждого пункта измерения с интервалом 200 мсек.

Формат записи последовательностей данных по датчикам различных изготовителей многочислен и разный, основное отличие в разделителе – запятая или пробел – и символе конца записи. Постпроцессор пытается проанализировать каждую последовательность и конвертировать, если нужно, в формат CSV. Это остается востребованным до тех пор, пока новые датчики добавляются к оборудованию системы GEEP. Данные базовой станции, если присутствуют, обрабатываются аналогичным способом.

Результат работы постпроцессора – это единственный файл на каждый регистрирующий порт системы GEEP, содержащий координаты позиционирования, перемещения датчика и значения регистрируемого параметра. Координаты позиционирования представлены широтой и долготой WGS84, так что отдельные пользователи могут использовать предпочтительное для них преобразование в их локальную сеть. Перемещения датчика даются в метрах, поэтому легко могут быть учтены при расчете координат. Данные перемещения основного датчика на GEEP, компаса и GPS, исправленные по GPS качественные данные также сохраняются в этом файле. В случае редких компасных вариаций или девиации, или экстремального рельефа местности данные могут быть проконтролированы и затем автоматически введены поправки позиционирования.

Дальнейшая полевая работа

Начав с проекта FIESTA Университет Leicester в сотрудничестве с Geomatrix Earth Science, получил финансовую поддержку от UK Minerals Industry Sustainable Technologies (MIST) для проекта GRAMS, который включает дальнейшие полевые исследования, которые должны быть предприняты, и идеи для дальнейшего усовершенствования GEEP в более рентабельный вариант. Это в конечном итоге материализуется в опыте трансферного партнерства (knowledge transfer partnership (KTP)) с Geomatrix в качестве коммерческого (экономического) партнера. Финансирование MIST обеспечивается взиманием налога с совокупной готовой продукции, так как это дает доступ GEEP к перспективным местам совокупной добычи, что привело к некоторым иным задачам по сравнению с теми, с которыми сталкивается проект FIESTA.

Целью проекта GRAMS являлось создание объединенного геологического и геофизического метода для более детальной характеристики возможных объектов добычи. В Великобритании объекты традиционной добычи имеют флювиальное происхождение и обычно довольно однородны на всей протяженности, поэтому их разработку можно планировать эффективно.

Однако на сегодняшний день большинство этих объектов выработано и стоят задачи поиска более сложных гляциальных отложений, которые могут быть существенно более гетерогенными (неоднородными) по своей природе, как по составу, так и по качеству. Это приводит к существенной неэффективности процесса разработки и повышению цен на продукцию. Если полевая геофизика вместе со скважинными исследованиями может дать хорошие результаты по детальной характеристике объекта на стадии планирования, то может быть составлен существенно более эффективный проект разработки.

Чтобы стало возможным это осуществить, геофизические данные должны быть трехмерными. Все эти объекты очень часто связаны с углями, поэтому электрическое сопротивление и электромагнитная проводимость считаются отличными параметрами для картирования при оконтуривании объектов и по латерали, и вертикали. Используя GEEP, мы имели возможность одновременно проводить измерения с приборами EM38 и EM31 с одной платформы, в результате чего получили электропроводность для двух эффективных глубин. Для получения дополнительной глубинной информации мы также смонтировали на GEEP прибор EM34-3. EM34-3 это двухкатушечный прибор, глубина проникновения которого регулируется не только ориентацией катушек, но и разделением катушек. Это значит, что вторая дополнительная платформа буксируется с кабелем на задних санях, в то время как ресивер располагается на передних.

Для дополнительного контроля позиционирования данных на задней стороне санок смонтирована вторая антенна DGPS, таким образом, реальный пункт измерения, который находится посередине между катушками Tx и Rx, может быть точно определен. Рисунок 4 показывает реальный вид конструкции при съемке с EM34-3, при повторной съемке по тем же профилям с другим расстоянием между катушками получают значения электропроводности на разных глубинах. Из-за дополнительных осложнений, связанных с ориентацией катушки, когда она в горизонтальном положении, производятся только вертикальные дипольные измерения в ходе этапа приобретения GRAMS данных.



Рис. 4 Съемка с GEEP, буксирующим измерительный прибор удельной электропроводности. Генераторная установка и DGPS установлены на задней стороне саней, а приемник и второй DGPS – на передней. Антенна беспроводного LAN для связи с базовой станцией четко видна над левым плечом водителя.

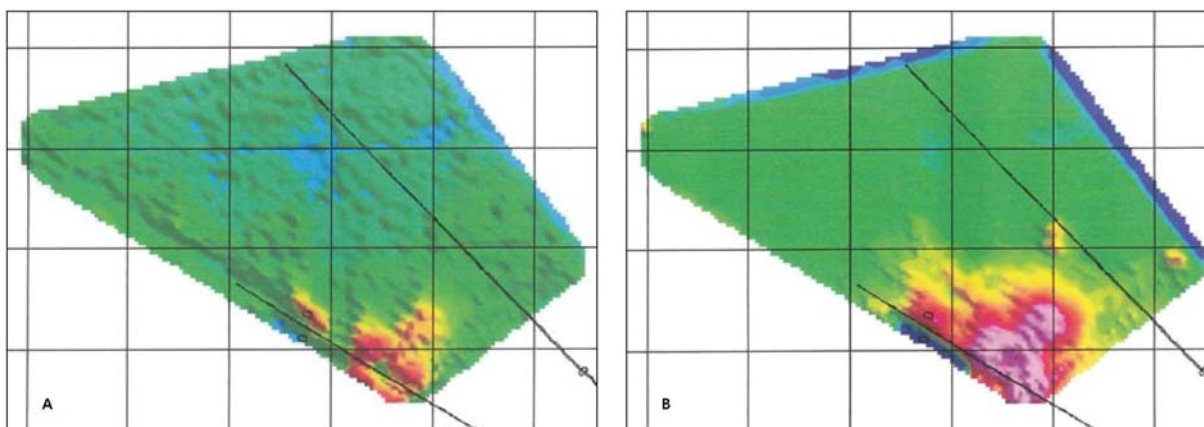


Рис. 5 Данные электропроводности EM с номинальными глубинами проникновения 1 м (5a) и 5 м (5b) соответственно.

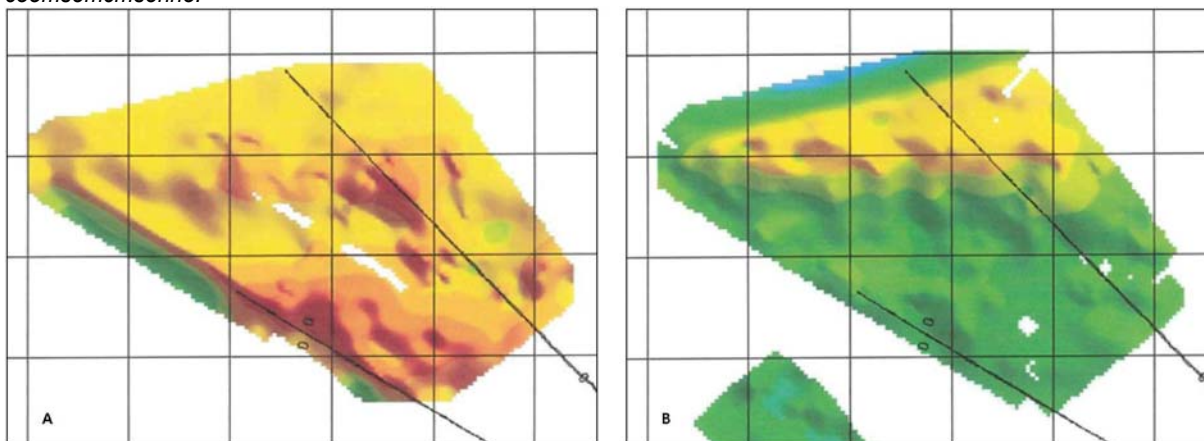


Рис. 6 Данные электропроводности EM участка объекта GRAMS с номинальными глубинами проникновения 15 м (6a) и 10 м (6b) соответственно. Цветная шкала на всех изображениях соответствует порядку от 10 омм (голубой цвет) до 45 омм (розовый цвет).

Данные электропроводности по проекту GRAMS

Этот объект, который является частью объекта разработки минерального сырья, содержит слой гравия на глубине от 5 до 15 метров, характеризующийся непостоянной (заметно изменяющейся) мощностью и качеством по площади. Достоинством этого участка является наличие большого количества скважин, которые позволяют контролировать геофизические данные. Поскольку гравий ограничивается существенно более электропроводящими углями, основным средством геологического картирования был выбран комплекс приборов EM38, EM31 и EM43, таким образом, была измерена электропроводность на разных глубинах по всему участку, в то время как магнитометры G-823 Caesium Varouг использовались для поисков археологических объектов.

Заметим, что на приведенных картах электропроводности, хотя аппаратура записывает данные в единицах проводимости, данные пересчитаны в Омметры, чтобы можно было легко и быстро сделать сравнение с электрическим сопротивлением, приведенным на рисунке 7.

По двум профилям, направленным с юго-востока на северо-запад, была проведена томография удельных электрических сопротивлений (electrical resistivity tomography - ERT). Эти профили были выбраны, поскольку оба пересекают вызывающие интерес области с низкой электропроводностью и проходят через несколько скважин, что важно для калибровки геофизических измерений.

Результирующая томограмма удельных сопротивлений по профилю через юго-западную часть площади показана на рисунке 8.

Данные ERT очень хорошо коррелируют с электропроводностью, и те и другие показывают изменения в глубине и мощности гравия, который выделяется как резистивное тело, заключенное между более электропроводными углями.

Использование в археологии

Изменения в законодательстве по всей Европе, касающиеся проектирования использования земельных участков, как для извлечения полезных ископаемых, так и для строительства, обязывают производителей работ проводить оценочные археологические съемки как часть процесса проектирования.

В процессе разработки также оценивался GEEP на предмет соответствия этим задачам. Проект GRAMS в сотрудничестве с отделом Archaeometry департамента Английского наследия предоставил такую возможность. Хотя GEEP может осуществлять съемку очень быстро, следовало ответить на вопрос археологов – насколько точным будет позиционирование и пространственное разрешение по сравнению с привычными (традиционными) геофизическими археологическими съемками, основной объем которых проводится с использованием феррозондового градиометра? Самые слабые аномалии в археологии меньше 1 нанотеслы, так что любая археологическая съемка – хороший тест возможностей GEEP, пространственного разрешения и уровня помех.

Несейсмические методы

Объект English Heritage, Wroxeter Roman City, является идеальным полигоном для анализа возможностей GEEP по сравнению с последним словом техники – магнитометром Caesium Vapour, который перемещается вручную на тележке с постоянной скоростью вдоль точно размеченных профилей по сетке 100 на 100 метров, углы которой точно определены с помощью RTK GPS. Wroxeter был главным городом в Римской Британии, максимальный расцвет города был в 4 веке, окончательно заброшен город был к 650 г. н.э. С тех пор, и это почти исключительно в Британии, улицы Wroxeter's Roman стали пастбищами, а не участками под более современное строительство. По этой причине данная местность представляет собой идеальный полигон для проверки возможностей высокоразрешающих геофизических исследований. На рисунке 8 показано сравнение данных, полученных English Heritage (EH) с использованием магнитометра Cs Vapour на ручной тележке, и данных системы GEEP с шестью паровыми датчиками Cs.

На обоих изображениях рисунка 8 видны дороги и разные более мелкие объекты, отличия между данными GEEP и EH очевидны. Некоторые из них, несомненно, связаны с более низкой точностью позиционирования дифференциальной GPS, использованной на GEEP, которая ниже точности системы RTK, использованной EH. Некоторые могут быть связаны с повышенной скоростью GEEP, что вызывает некоторое «размывание» данных вдоль профилей, или с известным фактом, что с тележкой в системе EH получаются более сглаженные данные вкост направления профилей съемки. В дальнейшей работе планируется оценить источники этих ошибок.

Очевидно, что данные GEEP отображают все основные черты, полученные по данным EH, а также и мелкие детали. Это видно на рисунках 9 (a) и (b), на которых изображены увеличенные фрагменты участка Wroxeter. Ручные тележки и буксируемые транспортными средствами платформы имеют существенные различия; значительно возросшая скорость проведения съемки с помощью системы GEEP является важным фактором при выборе типа платформы для проведения съемки на больших площадях, которые требуются отработать со 100% покрытием.

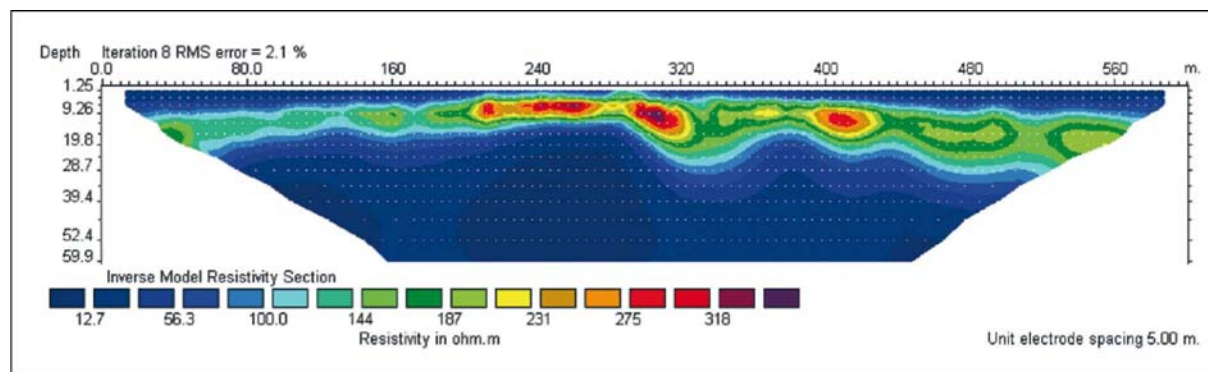


Рис. 7 Томограмма преобразованных удельных сопротивлений для профиля ЮВ-СЗ простирания через район съемки GRAMS.

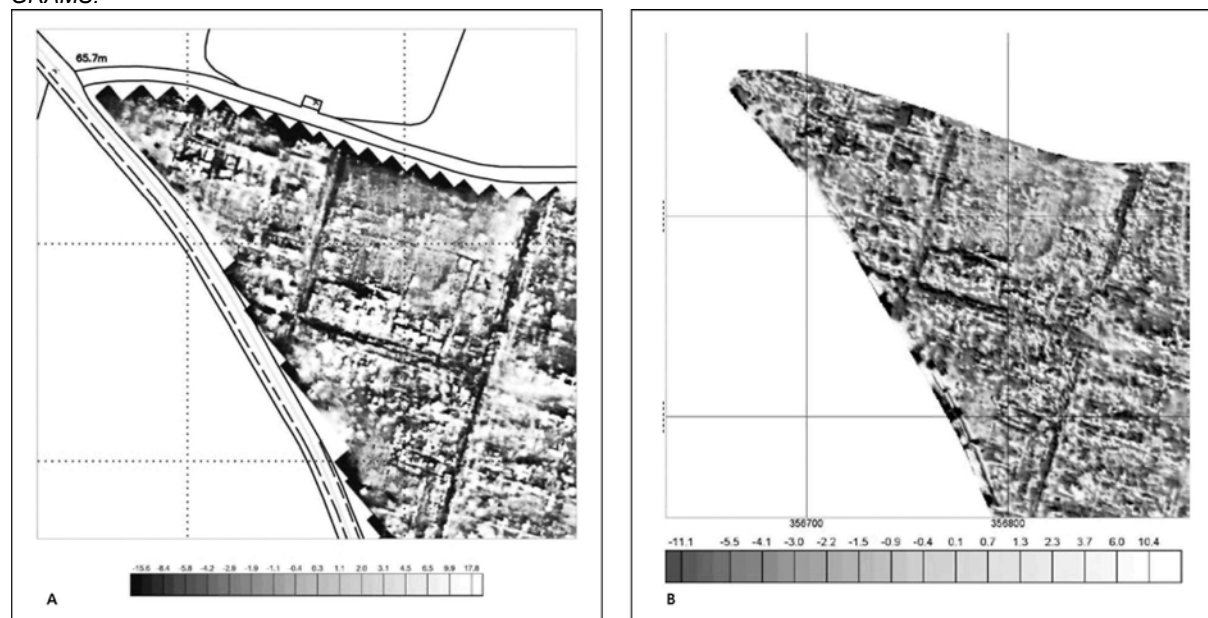


Рис. 8 Данные магнитометра Caesium Vapour по объекту Wroxeter Roman City, интервал между линиями сетки 100 м: а) EH данные, расстояние между датчиками 0.5 м, б) GEEP данные, расстояние между датчиками 0.5 м.

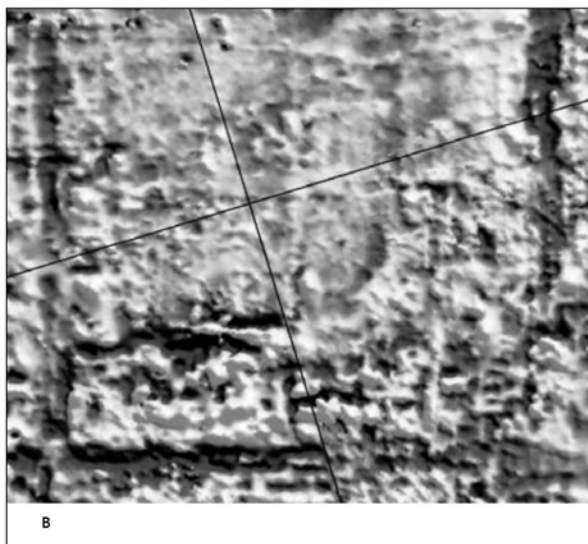
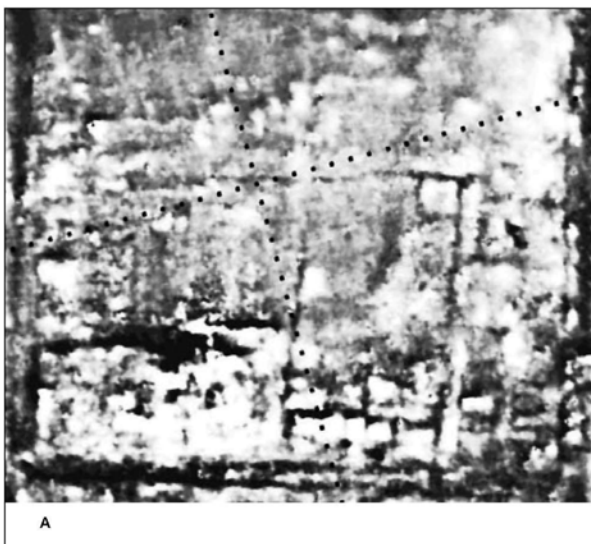


Рис. 9 Детальное изображение участка данных Wroxeter. 9(a) – ЕН данные, 9(b) – данные GEEP. И сильные особенности, и более тонкие аномалии от отдельных построек можно видеть на обоих массивах данных. Отметим, что ЕН данные обрабатываются, используя заранее заказанное для археологических данных программное обеспечение, которое позволяет очень тщательно проконтролировать контраст и другие особенности, предназначенные для усиления. Данные GEEP обрабатываются в основном с целью геофизического картирования, а программное обеспечение для изображения не позволяет такой тщательный контроль.

Выводы: система GEEP является в настоящее время платформой с отличными характеристиками, созданная для быстрой, высокоточной и гибкой работы. Она способна быть носителем различных геофизических датчиков, используемых в разных сочетаниях для разных приложений – от археологических и экологических задач до поисков и разведки минерального сырья, и включить малоглубинное геофизическое картирование в сферу коммерческой эффективности.



Рис. 10 Современные сани GEEP с несколькими датчиками Caesium магнитометра, DGPS антенна и измерительное устройство электропроводности ЕМ на буксируемом стингере.

Благодарности

English Heritage, Archaeometry Branch, Fort Cumberland, Portsmouth за использование для сравнения данных Wroxeter.

Литература

- Hill, I. [2004] MIST Project, Final report, MIRO Project MA/3/01/001.
- Hill, I. and Linford, N. [2005] Comparison of Rapid and Precise Magnetometer Survey Techniques over the Wroxeter Roman City Site, Shropshire, UK. AGU, April.
- Leech, C., Hill, I., and Grossey, T.M. [2005] Simultaneous geophysical surveys using a towed multi-sensor platform and its application to characterization of brownfield sites. SAGEEP Proceedings.