

Геофизика окружающей среды и инженерная геофизика

Малоглубинной геофизике необходимо продемонстрировать свое значение. Near surface geoscience needs to demonstrate its value

Прикладная геофизика при исследовании инженерно-технических условий территории строительства, а в последнее время проблем окружающей среды была склонна недооценивать возможности инженерных, лабораторных и научных организаций. Так заявляет John Arthur, новый заместитель председателя Отделения малоглубинной геофизики EAGE и геофизик-практик в этой области. Чтобы подтвердить это заявление, он приводит описания проектов и исследований пяти различных компаний в Великобритании, которые характеризуют возможности использования современных методов. Выбор компаний из списка почти 20 компаний является исключительно пояснительным и не имеет коммерческого или другого значения.

Пока существует общее взаимное согласие, что геофизика имеет возможность экономить деньги и время и уменьшать степень неопределенности непредвиденных условий, встречаемых в приповерхностной среде, большинство инженерно-технических работников ссылается на недостаточное понимание и знание геофизики, как на единственную важную причину ее редкого применения.

Один из ответов на это – образование. Чтобы помочь инженерам оценить преимущества геофизики, Zetica hosts проводит дни открытых дверей на своем испытательном объекте на аэродроме Enstone, гр. Оксфордшир (Enstone Airfield, Oxfordshire). Это мероприятие предоставляет возможность увидеть обширный ряд геофизических методов в работе и улучшить понимание принципов работы этих методов. Геофизические методы включают поверхностные сейсмические волны, методы преломленных волн, скважинную сейсмику, каротажную геофизику, томографию удельного сопротивления, магнитную разведку, электромагнитную разведку, микрогравиметрию, георадар (GPR) и радиочастотное определение местонахождения. Также демонстрируются минимально агрессивные технические приемы, такие как конические пенетрометрические системы, и обсуждаются методики интеграции этих результатов с поверхностной и скважинной геофизикой.

В отличие от нефтяной отрасли, где большинство пользователей сами являются геофизиками (или, по крайней мере, геологами со знанием твердой среды!), инженеры геофизики часто работают по проектам, где заказчики имеют гражданское инженерное образование. Работа часто является только небольшой частью всех инженерно-геологических исследований с неадекватно установленным объемом работы. CEO (директор-распорядитель) одной компании считает, что необходимо усовершенствовать методы осуществления закупок в UK для инженерно-геофизических проектов. CIRIA (первоначально «Исследования строительной промышленности и Информационные Общества» – Construction Industry Research & Information Association) в сообществе с Геологическим Лондонским Обществом (Geological Society of London – GSL) первыми выступили в 2002 году с публикацией «Геофизика при инженерно-геологических исследованиях». Это обеспечило неспециалиста стандартным справочным руководством по эффективности и условиям применения малоглубинной геофизики с существенным разделом по снабжению.

Так же как и демонстрации, испытательные стенды способствуют процессу образования. Они предоставляют возможность для обучения, аттестации и исследования многих аспектов малоглубинных геофизических исследований и методов. Самое главное, они используются, чтобы показать уместность (или наоборот) отдельного метода в данной ситуации, когда существует некоторый скептицизм в уме заказчика или просто потребность проверить новую деталь аппаратуры. На одном из испытательных стендов Природоохранной и Промышленной Геофизической группы GSL (Environmental and Industrial Geophysics Group) в Лестерском Университете, стенды выполнены из ряда металлических и неметаллических материалов разнообразной формы, погребенных на разных глубинах. На другом стенде вырыта большая яма с наклонным основанием и наклонными стенками, заполненная массой, содержащей сферические токопроводящие предметы, которые будут действовать в качестве объектов для калибровки наземного радара (рис. 1). Существует также контур (рамка) погребенных траншей с разнообразным заполнением, моделирующая погребенный фундамент и грунт, и область токопроводящих пластовых (листовых) материалов.

Испытательный участок погребенных элементов Zetica сконструирован, чтобы представить множество реально-существующих обстановок (сценариев). Проводящие и непроводящие объекты погребены на различных глубинах под ненарушенной почвой, искусственным грунтом, неармированным бетоном и армированным бетоном (одиночный или двойной слой).



Рис. 1 Подготовка испытательного стенда EIGG, Лейстерский Университет

* john@sitestudies.co.uk.

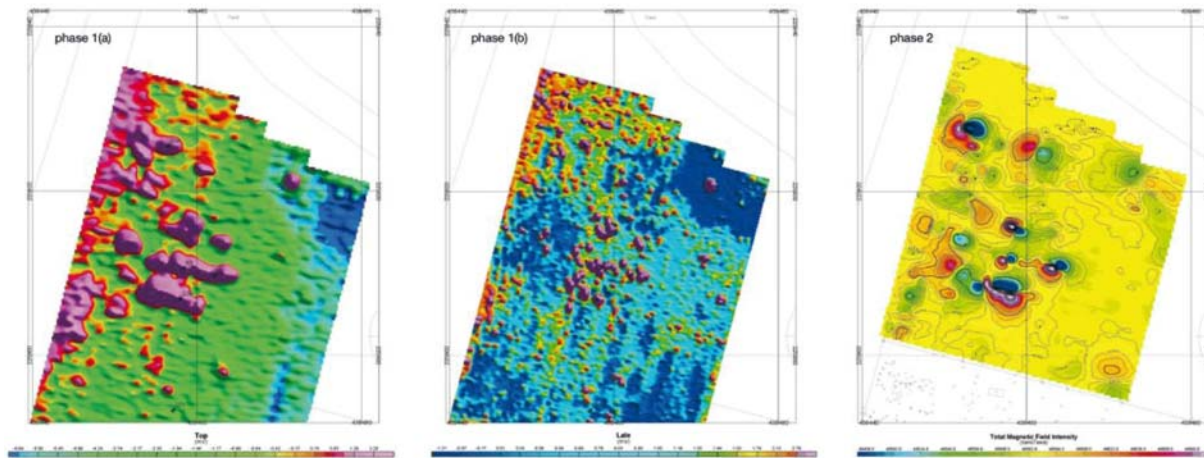


Рис. 2 Пример геофизических данных Zetisa, собранных по небольшому участку испытаний с UXO (240 объектов): Увеличение разрешающей способности слева направо – полное магнитное поле, EM61, EM61hh.

Различные размеры пустот, заполненных воздухом и водой, погребены на глубинах до 0.5 м под уровнем земли.



Рис. 3 Подвесной каротажный зонд Оуо

Калибровочные металлические плиты погребены до глубин 1.2 м под земляными покрытиями различных видов. Стенд используется, чтобы продемонстрировать то, что возможность обнаружения любого погруженного объекта является функцией его размера по отношению к глубине погружения, его вещественного состава и места погребения.

Испытательный участок с коричневым фоном также отражает реально существующие обстановки окружающей среды. Подземные резервуары-хранилища погребены на известных местах и глубине, и может быть закартировано пространство нарушенной земли. Стенд используется для того, чтобы продемонстрировать «метафорическую причину», где интерпретация причины геофизической аномалии может быть улучшена сочетанием, по крайней мере, двух методов.

Испытательный стенд включает испытательный участок UXO (невзорвавшийся снаряд), который является лишь гражданским объектом такого типа в УК, для поверхностного и скважинного испытания аппаратуры обнаружения UXO и методике обнаружения. Свыше 240 небольших пиротехнических элементов погребены на известных глубинах и местах. Четыре бомбы размерами от 50 кг до 500 кг погребены на глубинах более 3 м для обнаружения по ряду недалеко расположенных скважин (MagDrill) или методом, основанным на CPT (MagCone). Испытательный стенд часто используется, чтобы подтвердить (или не подтвердить) заявки поставщиков съемки на возможности аппаратного обнаружения. (Рис. 2) Эта потребность возникает вследствие увеличения количества компаний, претендующих на обнаружение всех объектов до глубин больших, чем глубины, заявленные фирмами-изготовителями. Стенд используется, чтобы продемонстрировать, что план геофизических исследований, включающий подбор соответствующих сканирующих методов и требуемое эффективное покрытие съемкой, является важным аспектом, определяющим вероятность успеха.

Геофизика окружающей среды и инженерная геофизика

Стандартная наземная методика, такая как межскважинная сейсмика, в настоящее время чаще используемая в томографической форме, редко выполняется в открытом море, вследствие затрат на проходку скважин и последующего установления платформы на время выполнения съемки. Хорошие данные SCPT (Seismic Cone Penetrometer Test – исследование сейсмическим коническим пенетрометром) обычно ограничиваются малоглубинными осадками из-за взаимосвязи источников. Имеются сообщения о «глубинных» исследованиях свыше 100 м под уровнем моря, но чрезвычайно редко. Однако, потребность в такой информации растет, вследствие сильной динамической нагрузки на морские сооружения, такие как ветряные турбины и платформы для добычи нефти и газа, или для сооружений в сейсмически активных регионах.

Недавний опыт, приобретенный компанией SM Pelorus, использующей PS подвесную каротажную аппаратуру, показывает, что метод обладает значительными возможностями в качестве быстрого, экономичного метода приобретения надежных данных Р- и S-волн на глубинах свыше 100 м под уровнем моря. Сейсмический источник и приемник находятся на одном аппарате, спускаемом на кабеле (рис. 3), который подает цифровой сигнал к находящимся на поверхности электронным приборам, где он восстанавливается в хорошо знакомую трассовую сейсмограмму колебаний. Боковой контакт не требуется, «поперечные колебания» являются фактически движением волны, перемещающейся со скоростью, близкой скорости S-волн. Время пребывания на каждом анализируемом уровне составляет лишь 2-3 минуты, и на 100-метровой скважине может быть проведен каротаж с интервалом 1 м в течение нескольких часов, получая в высшей степени детальный профиль сейсмических скоростей.

В недавних испытаниях метод выполнен вместе с межскважинной и скважинной съемками на прибрежном испытательном стенде перед использованием PS каротажа в том же слое во время исследования морской ветровой установки. Цель заключалась в том, чтобы экспериментально подтвердить результаты подвесной регистрации прямым сопоставлением с данными, полученными более традиционным и более широко применяемым методом. Этот специфический массив данных предоставил скорости S-волн, которые на чуть менее 10% медленнее, чем значения, полученные межскважинной сейсмикой.

Много сотен метров подвесной регистрации в буровом растворе, заполняющем ствол скважины в зернистом и вязком грунте, выдали очень достоверные профили S-волн, когда они были прокоррелированы со скоростями СРТ и образцов, и точно ограничили результаты проникновения сейсмических волн. Тем не менее, наряду с сопоставлением с результатами межскважинной сейсмики, необходимо, чтобы метод был правдоподобен, чтобы он получил более широкое одобрение на рынке UK. Это достигается отчасти принятием взаимосвязи между скоростью поперечных волн и скоростью фактически наблюдаемых волн. Также могут быть предпочтительны различные полевые методы, особенно сухопутные там, где выход керна и качество должны конкурировать с устойчивостью ствола скважины.

Система работает лучше в необсаженной скважине, имеющей минимальные нарушения стенок, и требуется промывка водой при бурении для безопасности дорогостоящей аппаратуры. Обоснованные нами утверждения заключаются в том, что аппаратура, которая могла бы

работать в пластической (вязко-текучей) скважине, не полностью исследована фирмой Pelorus, и такого рода результаты не полностью обнадеживают. Подвесная регистрация является далеко не новой аппаратурой, но она сравнительно мало использовалась в UK. Однако, есть признаки, что она приобретет популярность, так как возрастает уверенность в ее надежности и практичности.

На суше методы, которые однажды были приняты как часть геофизической отрасли, стали общепризнанными в качестве стандартных в сфере управления ресурсами в транспортной инфраструктуре. Например, данные GPR (георадар), собранные ежегодно по тысячам километров дорог и железнодорожных путей, наряду с множеством незавершенных объектов и данными условий, – комплекс, который устраняет необходимость визуального обследования. Инженерно-технический персонал автомагистралей может использовать онлайн-порталы, такие как строительные базы данных REVEAL, впервые созданные Aperio (современный отдел Fugro Group), чтобы получить приповерхностную картину их инфраструктуры по съемкам, которые были проведены загода (рис. 4) и бесплатно. Испытание Zetica железнодорожных путей обеспечивает исключительное средство дальнейшего развития методов сканирования балласта различного рода, мониторинга влияния окружающей среды на измерения, проверки нового балласта и результатов выборочного контроля проложенных трасс в условиях эксплуатации. Это средство также предоставляет железнодорожным специалистам, изучающим опыт GPR съемки, результаты дорогостоящего изучения грунта.

Фирма Aperio начала существовать в 1996 г, являясь пионером использования геофизики для структурных исследований. Важным фактором структурных исследований зданий, мостов и объектов недвижимости является неdestructивный аспект инженерной геофизики. Fugro Aperio применила методы, подобные инфракрасной термографии, высокочастотный наземный радар и даже электропроводность, к строительным сооружениям для определения их приповерхностных конструктивных деталей и картирования дефектов, таких как пустоты и влажестность. При более 400000 старых строительных сооружений, внесенных в UK в список для сохранения, существует явное преимущество «мягкого контакта» неdestructивных исследований, противостоящих более принятым земляным работам и выборочному отбору.

Компания, базирующаяся в Кембридже, отметила рост иностранных запросов, особенно из стран Среднего Востока. Заказчики заинтересованы в развитии производства в коммерческих целях, и основные



Рис. 4 Проверка дороги с помощью наземного проникающего радара по Австралийской программе REVEAL

Геофизика окружающей среды и инженерная геофизика

инфраструктурные проекты заказали наземные исследования, использующие методы, включающие электротомографию (томография удельных электрических сопротивлений), радиолокацию приповерхностных отложений (радар), микрогравиметрию, MASW (многоканальный анализ поверхностных волн) и другие сейсмические методы. Съемки предоставили ценную информацию по структуре грунтов и опасностям, таким как трещины и пустоты, которая использована для планирования фундаментов и строительных работ.

Fugro Survey, филиал, развернутый компаниями Geoteam, Svitzer, Wimpol, Racal Survey (Thales) и Oceonics, имеет базы в г. Абердин и г. Большой Ярмут и соперничает с компанией Gardline Marine Geosciences (также в г. Большой Ярмут), которая является мировым лидером в применении геофизических методов исследования сооружений в открытом море (рис. 5). Системы получения данных становятся всегда более изощренными и совершенными. Например, в геофизическом поле, цифровая регистрация в высокочастотных сонарных и сейсмических системах предоставляет учебные чистые изображения по

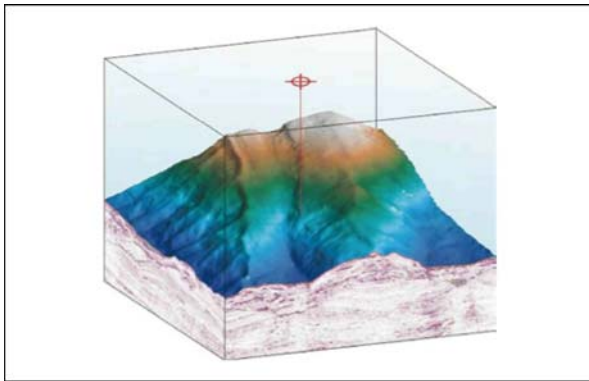
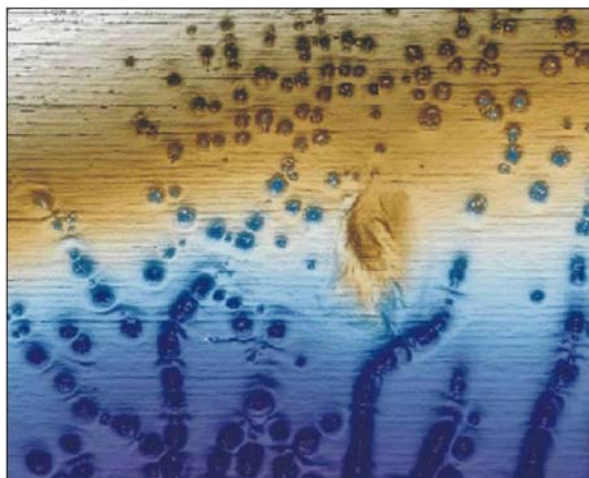


Рис. 5 3D изображение места заложения скважины на глубине
Рис. 6 Морское дно с широкими каналами выхода глубинной воды около Африки. Изображение получено по 3D сейсмическим данным. Ширина изображения 18 км. Глубина воды порядка 400-900 м; коричневый оттенок соответствует меньшим глубинам, голубой оттенок – большим.



ежедневным съемкам, а, AUV (автономный подводный носитель) платформа предоставляет резкие изменения качества глубинных морских съемок.

Fugro Survey Aberdeen эксплуатирует Hugin 3000 AUV

'Echo Surveyor' в течение более трех лет, собирая данные по серии глубоководных разработок месторождений и проектам глубоководных трубопроводов по всему миру. Решающий фактор успеха этих исследований состоит в эффективных систем и программ расшифровки и обработки, непосредственно в процессе сбора больших объемов данных (съемки) по высокочастотному многолучевому эхолоту, сонарным и сейсмическим системам, смонтированным на транспортном средстве. Эти достижения согласованы с возможностью интерпретировать данные совместно с инженерно-геологической информацией и понимать (истолковывать), что может сказать нам эта новая информация о геологических процессах, характере морского дна и их влиянии на строительные объекты касательно уменьшения опасности (риска) и техническое проектирование (рис. 6). Этот интегрированный подход предназначен обеспечить технические решения, которые оптимизируют проектирование, выбор места строительства и установку устройств для эксплуатационной доводки производственных объектов, соединяя вместе сейсмическую интерпретацию, инженерную геологию, анализ геопасопасности и геозекологию в единую систему. Это является подходом, который применен Fugro при учреждении Fugro GeoConsulting, новой глобальной инициативы (почина), которая имеет свои европейские базы в Wallingford и Great Yarmouth.

Подход геоконсалтинга к исследованию морского дна и морских сооружений приводит специалистов науки о земле к анализу данных, способствующему оценке степени риска и обеспечивающему технические решения. Это может быть применено к сооружениям любого масштаба в открытом море от одной или многих ветряных турбин до глубинных нефтяных и газовых месторождений и больших проектов трасс трубопроводов.

Аналогичный подход для сухопутных проектов предложен компанией STATS (отделение RSK Group), основанной в St Albans, которая ведет инженерно-геологическую и геозеологическую инженерную консультативную деятельность. Она охватывает сферы от обслуживания на чисто теоретическом этапе посредством исследования и проектирования до обслуживания на строительном этапе и проблемной среды совместно с работой соответствующих экспертных свидетелей. Время от времени вниманию предлагаются семинары для улучшения понимания заказчиками используемых



Рис. 7 Метод преломленных волн, использующий сухопутную сейсмическую косу на активно действующем гравий-перерабатывающем комбинате.

Геофизика окружающей среды и инженерная геофизика

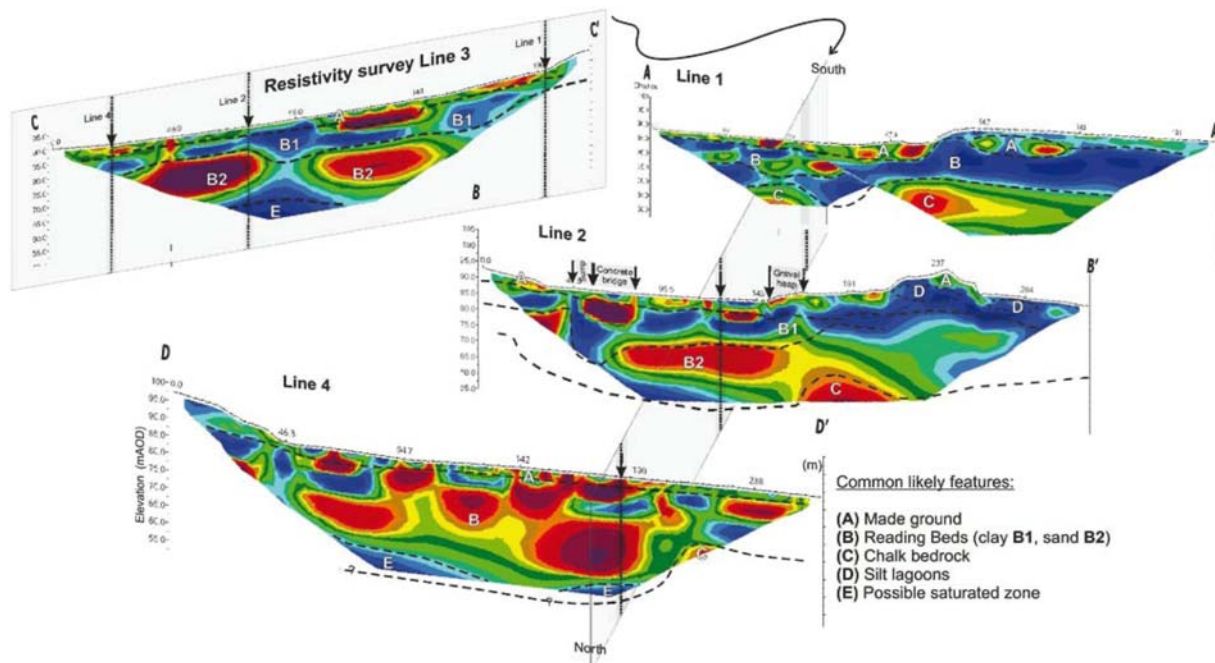


Рис. 8 Разрезы удельного сопротивления по результатам съемки несколькими методами совместно с результатами скважинных данных

технологий. В последние годы компания STATS развернула использование множества геофизических методов и анализа интегрированных данных для получения высококачественных данных в трудных условиях окружающей среды. Пользуясь более чем одним подходом к объекту, используя более одного метода можно улучшить достоверность интерпретации. STATS использовала этот принцип в дальнейшем, разрабатывая методы обработки данных для извлечения максимума информации из каждого массива данных и применяя свои знания и опыт для интегрирования физических изображений приповерхностной среды в геологическую или инженерно-геологическую среду для заказчика. Понимание природы и пределов применения собранных данных является центральным моментом для успешной интерпретации. Результаты постоянно точно же контролируются (проверяются), достигли ли исследования намеченной цели, или продолжать работу дальше, и, следовательно, могут быть достоверно представлены установленные оставшиеся неизвестные величины и неопределенности. По собранным данным может быть установлено и учтено на этапе интерпретации влияние факторов внешней окружающей среды, таких как плохая погода, линии электропередачи, имеющиеся в наличии строения (включая железобетонные плиты, мощные и однородные, вложенные в грунт). Разработка интерпретационных моделей грунта посредством многократного опережающего моделирования не только дает модель по уточненным данным, но инженер-геофизики также приобретают более полное понимание уязвимых мест (недостатков) каждого метода, которое учит их избегать затруднения при интерпретации данных.

Последний проект по гравий-перерабатывающему комбинату иллюстрирует этот подход. Сооружение имеет форму карьера, в дальнейшем используемого для захоронения отходов, а в настоящее время перекрытого армированным бетоном. Карьер был пересечен не нанесенными на схему коммуникациями, покрыт всегда перемещающимися отвалами гравия и имел завод с трудным доступом к нему. Было проведено много работ, чтобы прийти к нормальному рабочему процессу. Задача состояла в том, чтобы установить место для отходов производства, сделать насыпной пространственно однородный грунт с песчаным и алевроито-глинистым ложем, а также установить местоположения и качество подстилающих меловых пород.

Потребовались точные установки для профилей изображения удельного электрического сопротивления, чтобы избежать утечки тока через арматуру. Стандартный метод преломленных волн показал малоглубинную слоистость при сопоставлении с разрезом удельного электрического сопротивления (рис. 8) на то же место. Помехи, обусловленные характером местности, трудности съемки методом преломленных волн были идеальным по амплитуде и частотному содержанию для получения изображения приповерхностных волн. Приповерхностные волны затем были инвертированы, чтобы выделить жесткость при сдвиге, и проинтерпретированы, чтобы выделить насыпной грунт и участки низкокачественного мела. Последующие скважинные исследования обеспечили геофизическую интерпретацию и представили уверенность инженерам проекта, что созданные карты приповерхностной среды точные.

Ценность интегрированного подхода STATS была признана UN CTBTO Nuclear Test Ban Treaty Preparatory Commission. Компания должна была расписать стандартные процедуры работы, которые выполняются наземной геофизической партией в течение инспекции на месте для определения возможного залегания скрытого подземного ядерного объекта-теста. Кроме того, должны быть просчитаны нарушения в грунте и грунтовые воды на глубине, значительная доля малоглубинной инфраструктуры на и около положения ядерного объекта-теста. Инспекция может быть ограничена имеющимся в распоряжении временем и кадрами, и поэтому крайне необходим подход, при котором можно получить максимум информации по набору дополняющих друг друга методов.

Другая область, связанная с ядерными проблемами, заключается в выборе места строительства новой ядерной силовой установки и в связанном с этим требовании по хранению радиоактивных отходов. Одиннадцать лет назад самое большое инженерное геофизическое исследование в UK (стоимость полевых работ £4 миллиона), Sellafield для вестественной характеристики сооружения (RCF), привело к резкому прекращению поддержки правительства плана застройки при отказе специалистов выдать разрешение на планирование. Обнадеживает то, что принятие необходимости новых серий атомных электростанций в UK и наглядно растущая потребность сооружения хранилищ ядерных отходов предоставит выход для мощностей, которые сейчас покоятся в 20 или приблизительно стольких же компаниях, находящихся в UK, обеспечивающих полное приповерхностное научное исследование, аналогичное пяти описанным в данной статье.