

Использование установки из нескольких металлодетекторов для нахождения аномалий, указывающих на наличие боеприпасов и взрывчатых веществ / нераззорвавшихся боеприпасов, содержащих черные и цветные металлы

Brett E. Pasapane – Старший геофизик, Roy F. Weston, Inc., 1400 Weston Way, West Chester, PA 19380, телефон 610-701-7332, факс 610-701-7401, Email:

[Pasapanb@mail.rfweston.com](mailto:Pasapanb@mail.rfweston.com)

David R. Sieling – Старший сотрудник, McLane Environmental, LLC, 707 Alexander Road, Suite 206, Princeton, NJ 08540, телефон 609-919-2702, факс 609-987-8488, Email:

[dsieling@McLaneEnv.com](mailto:dsieling@McLaneEnv.com)

## РЕФЕРАТ

Установка, состоящая из трех металлодетекторов EM61-MK2 от компании Geonics Limited, была использована для выявления подземных металлических аномалий на военно-морской верфи Mare Island в Вaleyо, Калифорния. При обследовании участка площадью 120 акров ставилась задача найти аномалии, которые указывают на наличие боеприпасов и взрывчатых веществ / нераззорвавшихся боеприпасов (OE/UXO), содержащих черные и цветные металлы, в бермах земляного отстойника земснаряда, уделяя особое внимание 20-мм снарядам с бризантным взрывчатым веществом (HE). Охват установки составил 3,5 метра, а расстояние между центрами металлодетекторов равнялось 1,25 метра. Прежде чем перейти к регистрации данных, были проведены испытания на чувствительность, с тем, чтобы определить минимальное расстояние между установкой и буксировочным транспортным средством. Показания напряженности электромагнитного поля (EM) брались на каждом приборе с интервалом 0,20 секунд, что соответствовало расстоянию от 0,5 до 1 фута между показаниями на траектории движения. Приборы были соединены синхронизирующим кабелем, с тем, чтобы обеспечить независимую работу датчиков без взаимных помех. Сбор данных от дифференциальной глобальной системы позиционирования (DGPS), поступающих в реальном времени, производился одновременно со сбором данных о напряженности электромагнитного поля, что позволяло определить координаты места с точностью до метра. Благодаря системе DGPS, можно в любой момент повторно получить координаты аномалии для идентификации или для начала землеройных работ. Стандартная производительность при проведении обследования, с расстоянием между профилями 1,25 метра, составила примерно 6-8 акров за восемь часов. Для того, чтобы определить оптимальное расстояние между профилями и частоту взятия отсчетов, с помощью установки был обследован опытный участок с закопанными неактивными боеприпасами, включая 20-мм снаряды. После выполнения калибровки на описанные настройки и расстояния, приборы формировали изображение 20-мм снарядов на глубинах от 1 до 4 футов ниже поверхности земли, в нескольких направлениях.

## ВВЕДЕНИЕ

Обследование огромных участков земли с целью поиска боеприпасов и взрывчатых веществ / неразорвавшихся боеприпасов (ОЕ/УХО) представляет собой сложную задачу. Быстрый выезд в поле и обустройство лагеря, быстрый сбор данных, достоверность данных, полный охват территории, и помимо всего прочего обеспечение безопасности – вот лишь некоторые из аспектов этой задачи. Решением, позволяющим решить эту задачу, является механизация полевых исследований. Описанные выше методики были применены на площади примерно 120 акров, занятой бермами действующего и заброшенного земляных отстойников земснаряда на военно-морской верфи Mare Island в Вaleyо, Калифорния. Задача геофизического исследования заключалась в нахождении электромагнитных (ЕМ) аномалий, которые указывают на наличие ОЕ/УХО, содержащих черные и цветные металлы, в бермах земляного отстойника земснаряда, уделяя особое внимание 20-мм снарядам с бризантным взрывчатым веществом (HE). Для того, чтобы можно было передать право собственности и начать повторное использование земляного отстойника, органы государственного регулирования требовали обеспечить защиту здоровья людей и окружающей среды. Результаты съемки и последующего обследования аномалии должны были гарантировать, что ОЕ/УХО не представляют опасность для рабочих, которые будут заняты на этой площадке (Weston, 2001).

В связи с тем, что в прежние времена в Mare Island Strait производился сброс отходов, и выполнялись дноуглубительные работы, в земляные отстойники через 16-дюймовые трубы от землечерпалки вместе с грунтом попадали ОЕ/УХО, металлический лом и прочие бросовые материалы (Weston, 2001). Основная часть металлического лома собиралась и оседала вблизи водостоков отводных трубопроводов. Повторная разработка внутренней части земляных отстойников, и формированием откосов земляных берм привели к перераспределению некоторой части металлического лома и ОЕ/УХО.

Обследование земляных отстойников земснаряда включало в себя обследование верхней части и откосов берм, внутренней части земляных отстойников в пределах 25 футов от подошвы бермы, а также участков водостока отводных трубопроводов. Верхняя часть берм является относительно плоской; однако, в некоторых местах угол наклона откосов составляет от 30° до 40°. Кроме того, внутренняя часть земляных отстойников была вспахана, что делало передвижение полевого персонала с приборами ЕМ опасным. Опасность для здоровья и безопасности персонала представляли утомление, тепловой удар, кроме того, человек мог поскользнуться, споткнуться, и упасть. Механизация процесса и создание буксируемой установки, включающей в себя несколько металлодетекторов, свело к минимуму возможность получения травм. Кроме того, это позволяло решить задачу проекта, включая быстрый сбор данных, обеспечение достоверности данных, и полный охват территории.

## ОБОРУДОВАНИЕ

Для обнаружения аномалий, вызванных наличием черных и цветных металлов, использовался металлодетектор высокого разрешения EM61-MK2 от компании Geonics Limited. Прибор EM61-MK2 имеет несколько временных окон, что позволяет геофизику в определенном месте брать отсчеты с тремя дискретными временными интервалами на нижней катушке, и одним дискретным временным интервалом на верхней катушке. Временные окна величиной 216 микросекунд (мкс), 366 мкс и 660 мкс обеспечивают улучшенное разрешение сигнала по сравнению с прибором EM61, который имеет одно временное окно с центром на отметке 660 мкс (Bosnar, 2001). Металлодетектор EM61-MK2 и соответствующее программное обеспечение позволяет одновременно получать данные с пяти приборов. В нашем случае использовались две конфигурации установки: с тремя приборами и с двумя приборами. Синхронизирующий кабель между электронными блоками приборов, обеспечил независимую работу датчиков (катушек), без существенных взаимных помех.

Одновременно со сбором данных о напряженности электромагнитного поля производился сбор данных о местоположении, с использованием дифференциальной глобальной системы позиционирования (DGPS) Trimble Pro XRS. Данные DGPS в реальном времени поступали непосредственно в регистратор данных PRO4000, что позволяло определить координаты места с точностью до метра. Антенна DGPS была установлена над средним блоком; данные о напряженности электромагнитного поля от двух боковых блоков соотносились с координатами этой антенны (Рисунок 1). Координаты этих боковых блоков рассчитывались с учетом точной геометрии установки.

Для того, чтобы учесть особенности рельефа обследуемой местности, использовались две различные геометрические конфигурации установки EM61-MK2. На относительно плоских участках (Рисунок 1) земляных отстойников Mare Island сбор данных производился с помощью установки, состоящей из трех блоков EM61-MK2, а на откосах берм (Рисунок 2) – с помощью установки, состоящей из двух блоков. На трехэлементной установке датчики располагались в ряд на одной линии, а буксировка установки осуществлялась с помощью транспортного средства повышенной проходимости (ATV). Такая конфигурация использовалась на большей части обследуемой территории, которая включала в себя, главным образом, плоские участки в верхней части берм земляных отстойников, и участки внутри земляного отстойника. Установки с блоками EM61-MK2 были спроектированы и изготовлены с применением неметаллических деталей и материалов.



**Рисунок 1: Установка, состоящая из нескольких металлодетекторов EM61-MK2 (с тремя датчиками), буксируемая транспортным средством повышенной проходимости.**

Верхняя и нижняя катушки металлодетекторов EM61-MK2 измеряют участок величиной 1,0 метр на 0,5 метра, при этом приборы установлены как можно ближе друг к другу, и сориентированы так, что их продольная ось перпендикулярна направлению движения (Рисунок 1). Полная ширина установки составила 3,5 метра. С учетом этих размеров центральные точки катушек (точки взятия отсчетов) оказались разнесенными на 1,25 м. Электронные модули и источники питания датчиков были установлены в задней части ATV. Регистраторы данных о напряженности электромагнитного поля и данных о местоположении (DGPS) были установлены в передней части ATV, что облегчало сбор данных, пуск и остановку процесса, а также наблюдение за сбором данных.



**Рисунок 2: Двухэлементная установка (с двумя датчиками) металлодетекторов EM61-MK2, буксируемая по откосу бермы газонокосилкой с шарнирно-сочлененной рамой.**

Откосы бермы представляли собой сложную проблему с точки зрения сбора данных и обеспечения безопасности персонала. Как правило, откосы бермы наклонены под углом около  $30^\circ$  или менее, но они оказались слишком крутыми для безопасного использования ATV. Поэтому для буксировки модифицированной версии установки, состоящей из нескольких металлодетекторов EM61-MK2, была использована газонокосилка с шарнирно-сочлененной рамой (Рисунок 2). Газонокосилка позволяла оператору сохранять вертикальное положение, тогда как установка двигалась под наклоном. Установка была модифицирована для установки двух датчиков EM61-MK2, вследствие чего установка стала легче и маневреннее. Расстояние между датчиками и их ориентация были выбраны так, что ширина двухэлементной установки составила 2,3 м, при этом расстояние между точками взятия отсчетов осталось равным 1,25 м. Антенна системы DGPS была установлена над фактическим местом сбора данных, таким образом, чтобы сохранять вертикальное положение. Настройка антенны производилась с учетом угла наклона каждого откоса (Рисунок 2).

## **ПАРАМЕТРЫ ОТСЧЕТОВ**

Для обеих установок и соответствующих им буксировочных транспортных средств были проведены испытания на чувствительность / эффект близости. Эти испытания позволили определить оптимальное расстояние между датчиками EM61-MK2, транспортным средством повышенной проходимости, газонокосилкой с шарнирно-сочлененной рамой, и антеннами DGPS. Для того, чтобы минимизировать уровень помех в сигнале напряженности электромагнитного поля, расстояние между буксировочными транспортными средствами и датчиками поддерживалось равным примерно 2 метра. Выбор оптимальных оборотов двигателя газонокосилки позволил снизить до минимума уровень электромагнитных помех.

Перед испытанием установок на опытном участке с известным расположением неактивных боеприпасов, был определен интервал взятия отсчетов с учетом емкости аккумуляторной батареи и объема памяти запоминающего устройства регистратора данных, а также скорости буксировки. Показания напряженности электромагнитного поля брались на каждом датчике через каждые 0,2 секунды (пять показаний в секунду), что соответствовало расстоянию от 0,5 до 1 фута между показаниями на траектории движения. Это расстояние между показаниями являлось функцией скорости буксировки, которая изменялась в диапазоне от 1,7 до 3,4 мили в час. Стандартная производительность на плоских участках при использовании установки, состоящей из нескольких металлодетекторов, составила примерно 6-8 акров за восемь часов работы. Выбранные параметры отсчетов и скорость съемки оказались достаточными для того, чтобы получить изображение 20-мм снарядов в нескольких направлениях, на глубинах порядка двух футов ниже поверхности земли. Скорость съемки учитывает проведение мероприятий, связанных с контролем качества, обсуждаемые ниже.

## **КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА**

Для обеспечения достоверности данных, каждый съемочный день проводились мероприятия, связанные с проверкой качества. Выделенные «нулевые» пункты использовались для обнуления приборов. В начале и в конце каждого съемочного дня в «нулевых» пунктах брались показания напряженности электромагнитного поля, с целью проверки обнуления прибора и возможного дрейфа показаний прибора. Во всех «нулевых» пунктах были подготовлены отрезки конечной длины для проверки качества, где каждый съемочный день проверялась повторяемость показаний напряженности электромагнитного поля и точность определения местоположения системой DGPS. В конце каждого съемочного дня, или по заполнении регистраторов, данные загружались в полевой компьютер, проверялись на комплектность, на точность координат, после чего архивировались.

## **ОПЫТНЫЙ УЧАСТОК**

Для «калибровки» геофизического оборудования был создан опытный участок размером 100 футов на 100 футов, на котором разбрасывались неактивные боеприпасы, аналогичные тем объектам, которые предполагалось обнаружить во время съемки. Обследование опытного участка с помощью установки с тремя блоками и установки с двумя блоками помогло определить оптимальное расстояние между съемочными профилями и интервал взятия отсчетов. Неактивные боеприпасы включали в себя 20-мм снаряды с бризантным взрывчатым веществом (HE), 5-дюймовые, 8-дюймовые, и 155-мм снаряды, сориентированные различным образом, и находящиеся на разной глубине. Анализ данных электромагнитной съемки проводился с помощью системы обработки и анализа данных Geosoft OASIS montaj™, а также дополнительного модуля UX-Detect™. 20-мм объекты на глубине порядка двух футов от поверхности земли давали сигнал с относительно сильной амплитудой, по сравнению с 20-мм объектами, захороненными на глубине 3 и 4 фута от поверхности земли. Используя нескольких временных окон для данных напряженности электромагнитного поля, и анализируя сигнал, удалось также определить местоположение более глубоких объектов. Однако, аномалия для таких объектов была в пределах электромагнитного фона. На опытном участке были также обнаружены более крупные объекты (от 5 до 8 дюймов) и кассетные боеприпасы на глубине до 10 футов ниже поверхности земли.

## **ВЫВОДЫ**

Приборы EM61-MK2 были разработаны производителем (Geonics Limited) для индивидуального использования, или, как в данном случае, для объединения и получения широкой «полосы захвата». Установки, состоящие из нескольких металлодетекторов, представляют собой безопасное и эффективное средство для сбора достоверных и исчерпывающих данных, которые позволяют обнаружить электромагнитные аномалии, указывающие на присутствие объектов из черных и цветных металлов. Механизация процесса снижает стоимость рабочей силы, и уменьшает опасность травматизма. Кроме того, установки с относительно широкой полосой захвата эффективны при обнаружении небольших объектов, включая 20-мм снаряды с бризантным взрывчатым веществом.

Поскольку данные имеют цифровую форму и постоянно архивируются, расшифрованные электромагнитные аномалии могут быть без труда повторно получены в поле с помощью блока DGPS, для использования при последующем вмешательстве. Засвидетельствовав эффективность этой методики получения данных, органы государственного регулирования, имеющие отношение к земляным отстойникам, одобрили использование нескольких установок в качестве средства, облегчающего передачу прав на повторное использование участка в коммерческих целях.

## **СПРАВОЧНЫЕ ДОКУМЕНТЫ**

Bosnar, M., 2001. Geonics Limited, Техническое примечание TN-33, «Why did Geonics Limited Build the EM61-MK2? Comparison Between EM61-MK2 and EM61» (Зачем компания Geonics Limited создала прибор EM61-MK2? Сравнительный анализ приборов EM61-MK2 and EM61).

Weston, 2001. «Unexploded Ordnance Intrusive Investigation, Dredge Spoils Ponds, Mare Island» (Интрузивные средства обнаружения неразорвавшихся боеприпасов, земляные отстойники земснаряда, Mare Island), Переработанный проект итогового отчета, Roy F. Weston, Inc., 31 августа, 2001.