

## Экологическая и инженерная геофизика

### Использование георадара в археологии и судебном деле

### Applications of ground penetrating radar in archaeological and forensic contexts

**А.П.Аннан (A. P. Annan), из компании Sensors & Software, приводит разнообразные примеры того, как георадар может приоткрыть завесу над историей и вскрыть неожиданные факты.**

**Г**еорадар нашел широкое применение в приложении к задачам малоглубинного картирования. Основные принципы этого метода изложены Девисом и Аннаном (1989). Самые интригующие результаты получены в сфере

археологии и судебных расследований. Поиск подземных антропогенных структур – независимо от аспекта: исторический это или криминалистический аспект – всегда порождает споры и комментарии.

В новостях то и дело появляются сообщения о том, что георадар используется для поиска Джимми Хоффа или с помощью георадара ведут раскопки затерянного города Атлантида. В то время как реальный, захватывающий успех редко достигает средств массовой информации. Те зрители из Великобритании, кто смотрит по телевизору программу *Команда на время*, почувствуют некоторое волнение и ощущение «охоты за сокровищем» когда узнают об использовании геофизики в приложении к археологии. В этой статье мы представим три интересных примера того, как георадар используется в судебных делах и археологии. Имеется много подобных примеров. Примеры, приведенные нами, были выбраны из-за особой значимости для геофизической аудитории.

#### **Потерянный эскадрон и Ледовая девочка**

Этот пример относится к 1942 году. Эскадрон авиации перебазировался из Северной Америки в Великобританию по пути через Гусиный залив, Лабрадор, Гренландию, Исландию, и в Шотландию, как показано на Рисунке 1. По этому пути во время Второй Мировой войны выполнялось много авиа перелетов.

Потерянный эскадрон включал в себя две летающих крепости и шесть истребителей-бомбардировщиков P38 (смотрите Рисунок 2). В июле 1942, эскадрон совершил перелет в Гренландию и собирался проделать второй этап пути в Исландию. Погода в Рейкьявике заставила повернуть эскадрон в Гренландию. Дебаты о том, распространяли ли Германские шпионские службы



**Рисунок 1** Путь следования авиа-эскадрона из Северной Америки в Великобританию во время второй Мировой войны



(a)



(b)

**Рисунок 2** Потерянный Эскадрон состоял из (a) бомбардировщиков-истребителей P38 и (b) летающих крепостей.



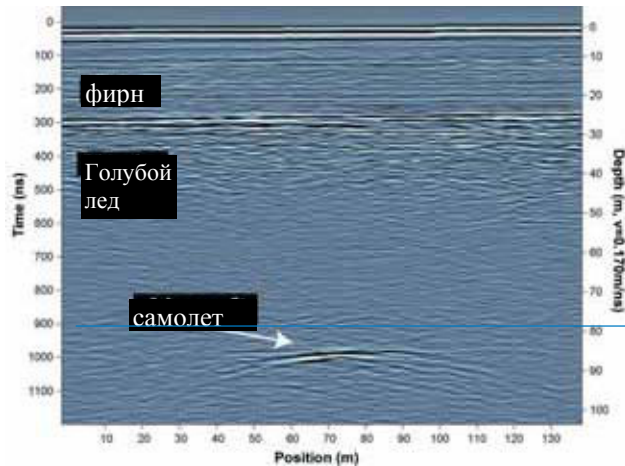
**Рисунок 3** Бил Тума в одиночку проводит георадарные исследования в Гренландии.

неверную погодную информацию или имели место резкие погодные изменения, идут по сей день. В конце концов, горячее было на нуле и самолеты совершили аварийную посадку на Гренландском ледовом щите. Все члены экипажа остались живы и были перевезены на берег, их в конце концов увезли на корабле. Самолеты были оставлены; это последнее, что стало известно об эскадроне за последние 50 лет.

В конце 1970-х кто-то наткнулся на записи о потерянном эскадроне в архивах правительства США. Это было началом поиска самолетов. Первой концепцией было то, что самолеты доступны расположены, потому, что приземлялись в относительно хороших условиях в легкодоступном районе. Фактически, прошло почти 15 лет до кульминации расследования.

После проведения нескольких экспедиций, с использованием различных видов геофизических методов и георадара, самолеты были обнаружены. В 1992 году, Бил Тума (показано на Рисунке 3) четко закартировал самолет. Бил использовал 50 МГц

## Экологическая и инженерная геофизика



**Рисунок 4** Пример записи георадара, на которой видно отражение от самолета, залегающего во льду на глубине порядка 85 метров.



**Рисунок 5** Установленный P38 по данным на Рисунке 4 был извлечен и восстановлен для полета в 2002.



**Рисунок 6** Георадарная партия проводит исследования на кладбище в Свальбарде для идентификации захоронений жертв испанки в 1918-19 г.г.

георадар как показано на фото. Он в одиночку выполнил исследования с помощью системы, буксируемой вручную с регулярной сеткой. Пример записи георадара показан на Рисунке 4. Во льдах на глубине порядка 80-90 метров виден очень мощный отклик. После того, как были проведены раскопки (Hayes, 1994), самолет был найден. Фотография P38, располагавшегося на глубине 260 футов (80 м) ниже поверхности земли, показана на Рисунке 5. Этот P38 был в последствии разобран, вынут на

поверхность и транспортирован обратно в США. Ремонтная команда приступила к реконструкции самолета в Миддлсборо, Кентуки. В 2002, самолет P38, который окрестили *Ледовой Девочкой*, снова поднялся в воздух. Более подробно смотрите на сайте Потерянного Эскадрона ([www.thelostsquadron.com](http://www.thelostsquadron.com)).

### Испанский грипп

В конце Первой Мировой Войны в 1919 г., эпидемия испанского гриппа унесла миллионы жизней по всему земному шару. Этот особенный штамм гриппа был крайне агрессивен и поражал людей самого работоспособного возраста от 15 до 40 лет, в отличие от других штаммов гриппа, для которых группа риска - дети и старики. Из-за того, что грипп этот был так опасен, ученые пытались выделить образцы вируса для определения его генетического состава, эта информация могла бы помочь в случае будущих эпидемий. В конце 1990х появилось предположение, что тела, захороненные в области Свальбард в Норвегии, могут содержать генетический материал испанского гриппа.

Записи, датированные 1919 годом, говорят о том, что несколько горняков, которые ехали на работу в область Свальбард, погибли от испанского гриппа во время переезда. По прибытии корабля в Свальбард, их тела были захоронены на местном кладбище. Благодаря тому, что местные почвы относятся к вечной мерзлоте, они практически всегда замерзшие, и был шанс, что тела горняков хорошо сохранились и могли бы послужить хорошим источником генетического материала.

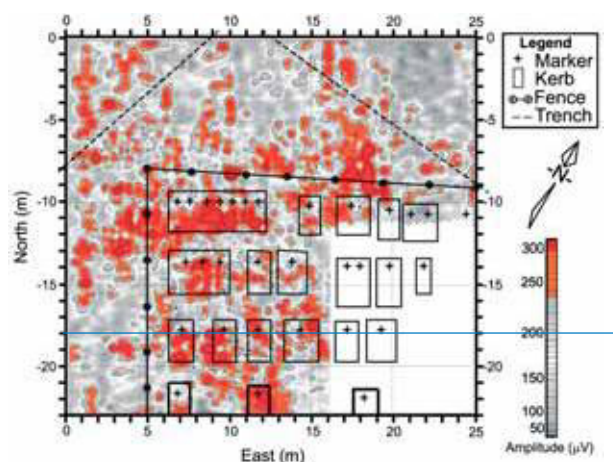
В 1997 и 1998 г. г. были предприняты экспедиции (Davis, 2000, Duncan, 2003). Первоначально георадар использовался для определения местоположения захоронения. Хотя кладбище было отмечено указателями, были опасения, что указатели могли быть передвинуты. Георадарные исследования, показанные на Рисунке 6, выполнялись на кладбище для определения положения могил.

Данные детальной съемки были закартированы на координатной сетке с использованием антенн 225 и 450 МГц. Пример карты временных срезов вместе с наложенными маркерами на поверхности показан на Рисунке 7. Результаты исследований показали, что структура участка гораздо более сложная, чем предполагалось ранее. Вместо отдельных могил, выкопанных вручную, оказалось, что в мерзлом грунте были вырыты большие могилы с использованием динамита. Тела помещались в эти углубления и закапывались. В результате, повреждения почвы не имеют вид простых прямоугольников, как ожидалось ранее. Определенные с помощью георадара места захоронений были подтверждены последующими раскопками.

Процедура откапывания была отложена, из-за необходимости быть крайне осторожными и не допустить воздействия атмосферы на останки. Когда останки были извлечены, было определено, что все тела были похоронены в пределах верхних 0.5 м почвы, которая была подвержена постоянному циклу заморзания/оттаивания. Поэтому тела полностью разложились. Несмотря на технический успех предприятия, основная цель извлечения генетического материала не была достигнута!



# Экологическая и инженерная геофизика



**Рисунок 7** Пример карты временных срезов георадара, на которой показан коэффициент отражения и корреляция с маркерами на поверхности.

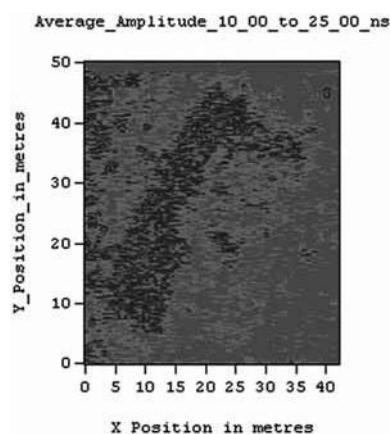


**Рисунок 8** Класс SAGE 2003 года и инструкторы на участке древних поселений в Нью Мексике.

## Программа SAGE

SAGE - Летняя программа по прикладной геофизике – программа, работающая уже в течение 20 лет. Эта уникальная программа, проводимая в ЮЗ части США, дает возможность студентам университетов, изучающим геологию и геофизику, получить полевой опыт. Основной целью является выполнить несколько практических полевых исследований за месяц в области Санта Фе /Лос Аламос штата Нью-Мексика. Студенты практикуются в таких методах как: МОВ (сейсмика), магнитотеллурический метод, малоглубинный электромагнитный метод, георадар и магниторазведка. Они изучают строение земной коры, а также геофизику в приложении к археологии и инженерным задачам.

Часть программы, связанной с малоглубинными методами неизменно включает в себя археологию. Например, один год студенты картировали резервуары для шлама проекта Тринити в Лос Аламосе. В другие годы они картировали структуры поселений Американских индейцев, датирующиеся несколькими сотнями лет. На рисунке 8 показана полевая бригада 2003



**Рисунок 9** На карте рассеянной энергии георадара выделяется структура древнего поселения.

г., Джорж Джерасек и Скотт Болдридж обсуждают местоположение древнего поселения. Жилища коренных жителей Америки, сделанные из глинобитных материалов, быстро разрушаются за несколько лет, превращаясь в почву и практически не находят выражения в рельефе. Несмотря на отсутствие выраженности в рельефе, всегда имеются следы воздействия человека.

Георадар ограничил глубину исследования в области Санта Фе. Из-за особенности почвы: испарения и присутствие остаточных солей, потери данных очень велики. Несмотря на это, георадар с антенной 250 до 500 МГц обычно может давать глубинность от 0.5 до 1 м. Самой эффективной методикой изучения поселений коренных жителей является съемка с регулярной сеткой и построение карт изолиний рассеянной энергии. Причина того, что картирование рассеянной энергии необходимо – приповерхностный слой перемененно неоднороден, потому, что был нарушен в результате деятельности человека, но ему не свойственна четкая структура. С помощью построения карт рассеянной энергии, структуры построек начинают проявляться. Одним из таких примеров является поселение, исследованное в 2003 году. Цветная карта рассеянной энергии приведена на Рисунке 9.

## Выводы

Много интересных и волнующих результатов получают при использовании георадара в археологии и судебном деле. Одним из таких примеров являются результаты, полученные Серен и др. и представленные в журнале *Малоглубинная геофизика* за 2004 год. Большие возможности открываются перед георадаром при изучении больших площадей и визуализации данных 3D. Использование объемного просмотра и анимированных временных срезов оживляет данные. К сожалению, печатные средства, которые мы здесь используем, не дают возможности показать данные с эффектами 3D. Несмотря на это, приведенные примеры хорошо иллюстрируют богатые возможности применения георадара в археологии и судебных расследованиях.

## Благодарности

Мы хотим поблагодарить Била Тума и Гренландское общество путешественников за их вклад. Мы также

## Экологическая и инженерная геофизика

благодарим Лес Девиса, Алана Хегинботома и остальных участников бригады из Свальбарда, участвовавшей в съемке и снабдившей нас информацией по району исследований. А также, мы хотим сказать спасибо Джорджу Жирасеку, Скотту Болдриджу и остальным сотрудникам SAGE, которые уже 20 лет не жалеют времени и усилий и обучают студентов премудростям науки.

**Литература**

- Davis, J.L. [2000] Ground Penetrating Radar Surveys to Locate 1918 Spanish Flu Victims on Permafrost. *ASTM Journal of Forensic Sciences*, Jan 2000, 68-76.
- Davis, J. L and Annan, A. P. [1989] Ground Penetrating Radar for High-Resolution Mapping of Soil and Rock Stratigraphy. *Geophysical Prospecting*, **37**, 531-551.
- Duncan, K. [2003] *Hunting the 1918 Flu*. University of Toronto Press.
- Hayes, D. [1994] *The Lost Squadron*. The Madison Press.
- Seren, S., Eder-Hinterleitner, A., Neubauer, W., and Groh, S. [2004] Combined high-resolution magnetism and GPR surveys of the roman town of Solva. *Near Surface Geophysics*, **2**, 2, 63-68.