

Application of geophysics to North American prehistoric sites

Использование геофизических методов в археологических исследованиях в Северной Америке

William J. Johnson¹ и Donald W. Johnson,² участники американского Консорциума по Археологии и Геофизике, рассказывают, что Северной Америке еще предстоит догнать Европу в применении геофизических методов в археологических исследованиях.

Методика, которую археологи называют дистанционными измерениями, заключается в изучении геофизических свойств поверхности почвы для создания изображений разреза, которые могут быть совместно проанализированы геофизиками и археологами с целью обнаружения подпочвенных образований антропогенного происхождения. Геофизика в данном случае используется как инструмент для обнаружения подобных образований до начала раскопок. Измерения также позволяют получать непрерывные данные, дополняющие более детальную точечную информацию, снятую с одиночных проб. Геофизика, таким образом, может помочь обобщению всей полученной в результате раскопок информации.

Геофизика обычно не используется при изучении доисторических стоянок в Северной Америке. Эта ситуация резко отличается от европейской, где геофизические измерения являются стандартной процедурой при проведении археологических исследований. Местная специфика является одной из причин непопулярности геофизики в Северной Америке: многие археологи считают, что из-за того, что доисторические народы в Северной Америке обычно не оставляли каменных построек, то геофизикам попросту нечего изучать. Другим фактором является отсутствие участия профессиональных геофизиков в большинстве опубликованных работ. Даже материалы, опубликованные в североамериканской базе данных археологической геофизики (NADAG) на базе университета Арканзаса (<http://www.cast.uark.edu/nadag/>) качественно отличаются друг от друга. Из приблизительно 80 результатов геофи-

зических измерений, представленных в NADAG, три четверти демонстрируют отсутствие убедительных результатов либо необходимых процедур. Тем не менее, присутствуют и замечательные отчеты. Особенно заслуживающими внимания являются: исследования, проведенные в районе Hollywood Mounds в графстве Tunica, штат Миссисипи группой из университета Миссисипи (Johnson et al., 2000); раскопки деревни Mit-tutta-hang-kush (Fort Clark State Historic Site, 32ME2), штат Северная Дакота, представленные Kvamme (2001); и исследования Double Ditch Indian Village State Park (32BL8), также представленные Kvamme (2002). Результаты многих исследований представляются многообещающими, но непроверенными – таковы, например, измерения в районе Greenbriar, штат Арканзас (Johnson et al., 1999). Исследования, проведенные университетом Арканзаса в Toltec Mounds (Lockhart, 2001), также демонстрируют интересные результаты, но нуждаются в проверке.

Несмотря на неутешительные результаты и негативное отношение большинства публикаций, доисторические стоянки являются хорошими целями для высокочувствительной геофизической разведки. Человеческое пребывание создает изменения и нарушения в структуре и свойствах природных почв и отложений. Примеры подобных объектов, представляющих археологический интерес, включают в себя:

- Костровища – магнитные максимумы; повышенное электрическое сопротивление.
- Тропинки, дороги могут вызывать различные ответы в зависимости от типа грунта, но лучше обнару-

живаются магнитной разведкой; могут быть максимумами из-за присутствия камней, но обычно являются минимумами из-за нарушения естественной структуры или погребения рельефа, подобно эффекту плуговых борозд (которые также хорошо обнаруживаются магнитной съемкой)

- Утоптанные полы теоретически должны обладать повышенным сопротивлением, но обнаруженные полы обычно характеризуются пониженным сопротивлением. Этую аномалию объясняют тем, что вода не в состоянии проникнуть в почву повышенной плотности и скапливается на полу. Утаптывание также понижает уровень пола, позволяя воде скапливаться там после разрушения стен дома.
- Заполненные лунки – низкое удельное сопротивление и повышенное магнитное поле, т.к. заполнение обычно идет поверхностными слоями почвы.
- Выгребные ямы и могилы – радары хорошо обнаруживают нарушения в естественной структуре грунта, вызванные раскопками, а также объекты, находящиеся в ямах. Нарушения почвенной структуры могут вызвать понижение магнитной активности; почва внутри могилы или ямы обычно ниже по плотности, чем окружающий грунт, может иметь более высокое содержание органических веществ и может отличаться повышенной влажностью и, как следствие, сниженным сопротивлением.

Во многих исследованиях, лучшие результаты достигаются сочетанием

¹ Старший геофизик в D'Appolonia, E-mail: wjohnson@dappolonia.com

² Независимый геофизик, E-mail: don.w.johnson@comcast.net

нескольких технологий. Например, сочетание магнитной съемки со съемкой методом сопротивлений на постоянном токе часто является эффективным способом обозначить границы культурного слоя до начала раскопок. Нарушения естественной структуры почвы обычно лучше всего обнаруживаются георадаром.

Возможности геофизической разведки в предоставлении полезной информации сегодня шире, чем когда бы то ни было. Физические свойства археологических объектов остаются неизменными. Большинство геофизических приемов используются уже в течение многих лет. Основные методы анализа и интерпретации данных также не изменились, т.к. анализ основан на нашем понимании физических свойств материалов. Единственное новшество в геофизике за последние годы – возможность быстро получать нужные данные. Появление же современных компьютеров и программ в корне изменило процесс обработки данных и вывода результатов. Некоторые методики, обычно не используемые в археологии, (например, трехмерное изображение разрезов удельных сопротивлений), теперь приобрели актуальность. Использование подобных методик описано в нескольких из представленных ниже примеров.

Пример 1: Использование метода сопротивлений при построении трехмерных изображений курганов в террасе реки Огайо

Более 100 курганов, связываемых с остатками культуры Adena, недавно было обнаружено в террасе реки Огайо к северу от Pittsburgh, штат Пенсильвания. Эти курганы были обнаружены на частной территории, где, согласно устным свидетельствам, прежний хозяин знал, что холмы являются захоронениями, и засадил их дикими яблонями для предотвращения доступа посторонних. Таким образом, эта местность не была включена ни в один археологический реестр. Геофизическая съемка некоторых курганов была проведена в 2004 г. для проверки наличия объектов, подтверждающих присутствие захоронений.

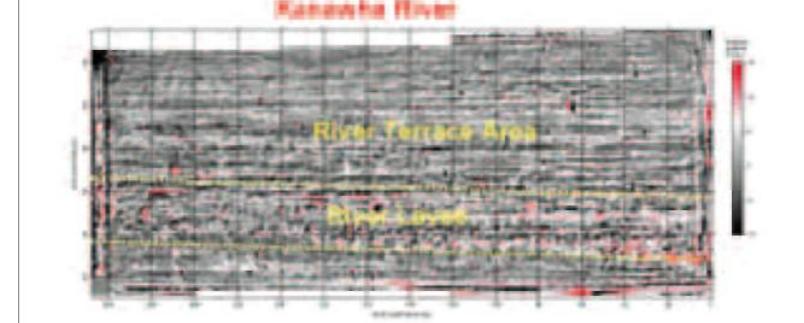
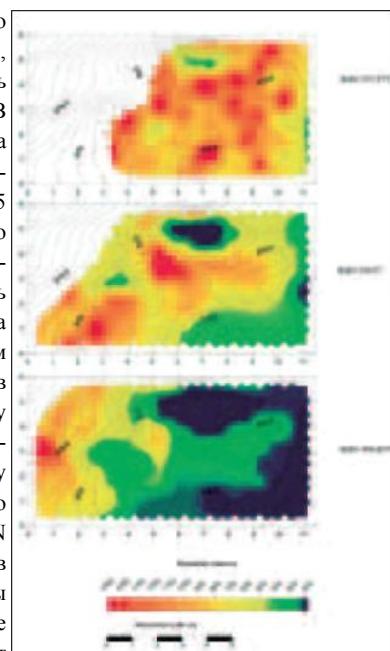
Измерения удельного сопротив-

ления были проведены с помощью мультиэлектродной системы Syskal Jr., т.к. этот метод позволяет строить трехмерные изображения курганов. В измерениях использовалась установка Винера, с расстоянием между электродами и межпрофильным интервалом 0.5 м. Данные были обработаны с помощью программы RES3DINV, которая учитывает топографию и может представлять результаты в виде карт сопротивлений на разных уровнях (в футах над уровнем моря, горизонтальные размеры указаны в метрах). Разведка обнаружила зону низкого удельного сопротивления, соответствующую по размерам одиночному захоронению, под поверхностью наиболее заметного кургана, 7 м E - 5 м N от центра. Подобная ей зона находится в 3.5 м E - 3 м N от центра вершины другого явного кургана. Могильные холмы Западной Пенсильвании могут

обладать каменными структурами или *разрезами удельного сопротивления* могильной ямой (неглубоким углублением в грунте курганов, основанные на нем) выкопанной в почве; оба объекта *трехмерном анализе: присутствие зон* обычно соотносится с низким сопротивлением. Почва в могильниках обычно весящих по размерам одиночным обладает низкой плотностью, высоким захоронениям, подтверждает предположением влаги и, как следствие, ложение археологов, что эта область низкой сопротивляемостью по сравнению является древним могильником. с окружающей породой. Булыжники или галька обычно обладают высоким 10-акровом (4 га) участке, прилежащем к реке Kanawha, Западная Вирджиния. Участок был предложен Управлением Разработок графства Putnam (PCDA).

Пример 2: архаические поселения, терраса реки Kanawha

Целью этого исследования, проведенного Horizon Research Associates из Morgantown, штат Западная Виргиния, в 2003 г., было применение геофизических технологий для идентификации возможных доисторических объектов на



Градиент магнитного поля через графство Putnam: магнитные максимумы обозначают места костровиц – подтверждены раскопками; полосы соответствуют плуговым бороздам.

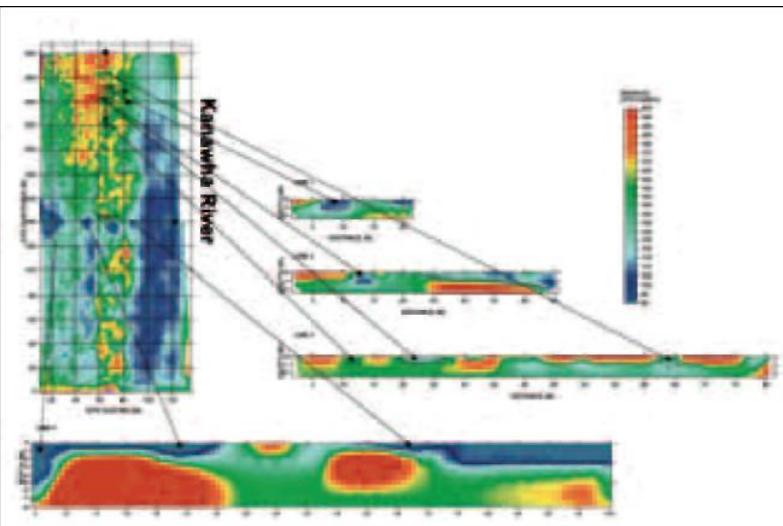
first break том 24, июнь 2006

Три геофизических методики были использованы: магнитная градиентометрия, метод сопротивлений и профилирование. Данные магнитометра были получены с использованием двух систем: Scintrex Smart-mag и пароцезиевого градиометра Geometrics G-858G. Данные снимались со скоростью 10 в секунду (среднее расстояние около 11 см), что привело к получению около 310,000 точек измерения. Данные по сопротивлению снимались с помощью системы Geoscan RM15 через каждые полметра по 20-метровым протяженностям с севера на юг в 1 м друг от друга. Таким образом, было получено 36,280 точек измерения. RM15 был настроен с помощью мультиплексора для снятия данных и с электродов как в 0,5, так и в 1 м друг от друга. Данные профили сопротивления, полученные с Syscal. Обратите внимание на то, что профилирования были получены с схемой повернута по часовой стрелке по отношению к карте магнитных помех установки 24 электродов в 1 м градиентов: результаты определяют глубину объектов, напоминающих ямы и интервалах; данные снимались автоматически указывают на то, что на восточной стороне участка есть засыпанная чески многоэлектродной каротажной поверхность террасы.

установкой Syscal Kid. В четвертой

линии расстояние между электродами вершины берегового вала. Плоская было 3 м. Syscal Kid был поверхность к востоку от берега реки запрограммирован на использование оказалась относительно непримечательной. Профили сопротивления E-W установки Винера.

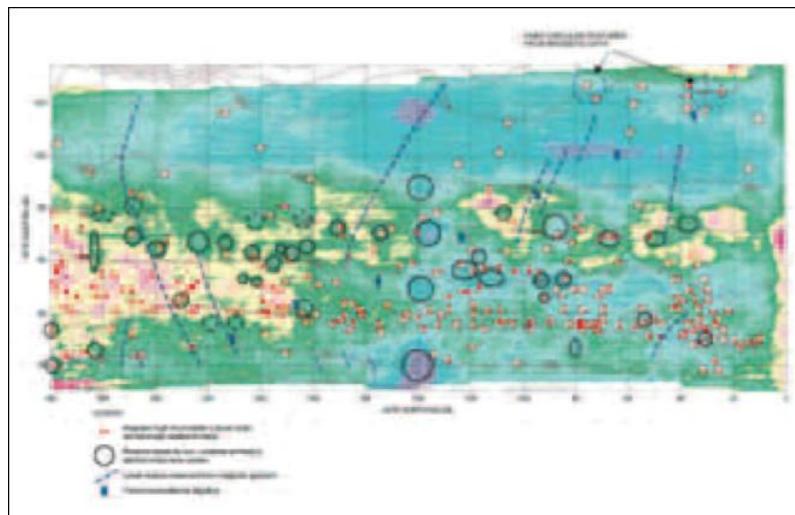
Основным открытием стало то, что показывают, что терраса состоит из большинство геофизических аномалий грунта пониженного сопротивления антропогенного происхождения были (возможно, из-за высокого содержания расположены наверху или недалеко от глины), насытившегося поверх грунта с



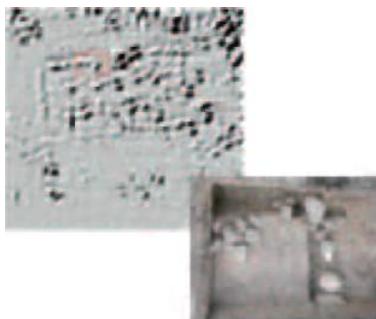
высоким сопротивлением, который кажется смежным с вершиной вала. Толщина террасного грунта в восточной части изучаемого участка около 2.5 или 3 м. Это указывает на то, что более молодые отложения покрывают более древние поверхности, где могут находиться дополнительные свидетельства наличия стоянки.

Валы формируются как пойменные отложения во время разливов, так что можно предполагать, что они отличаются от нижней террасы большим содержанием песка, и, как следствие, более высоким удельным сопротивлением. Эта ситуация наблюдается на данных, полученных через RM15 на участке к северу от 180 м N. Там относительно высокое удельное сопротивление соответствует вершине вала. Правда, к югу от 180 м N участки самого высокого сопротивления соответствуют восточному склону вала, а не его гребню. Это явление не имеет под собой очевидных оснований и ведет к предположению, что структура вала была нарушена в результате человеческого присутствия.

Большинство магнитных максимумов являются костровищами, так как аномалии не выглядят связанными с присутствием металла. Одно важное наблюдение, сделанное по результатам



Общая интерпретация геофизических данных, полученных в графстве Rutnam: точечные раскопки на местах, обозначенных как костровища, на самом деле оказались остатками очагов; результаты магнитной съемки также позволили определить местонахождение тестовых канав первой фазы раскопок – только одна из них находилась над геофизической аномалией, определенной как подвал (действительно найденная на этом участке).



Деталь карты магнитных градиентов с соответствующими раскопками.

измерения сопротивления – наличие

43 различных участков аномально Этот проект был проведен как часть низкого сопротивления. Они были комплекса мероприятий, связанных с определены либо как подвалы, либо переносом дороги Ruins Road к земляные полы. При сравнении с восточной и южной границе памятника профилями сопротивления, небольшие истории. Перенос был обязателен, т.к. объекты выглядят как ямы глубиной 1– вибрации от наземного транспорта 2 м. Некоторые объекты значительно

Пример 3: исторический памятник «руины Ацтеков», LA 1674

превышают их по размеру, позволяя предположить, что это полы хижин.

Результаты магнитной съемки также позволили определить расположение тестовых канав, прокопанных в 1990 гг. вдоль линии, пересекающей участок по диагонали. Лишь одна из этих канав пересекала геофизическую аномалию (определенную как подвал). Только там были найдены представляющие археологическую ценность объекты.

представляли угрозу сохранности комплекса «руины ацтеков». Предложенный проект дороги должен пересекать участок LA 1674.

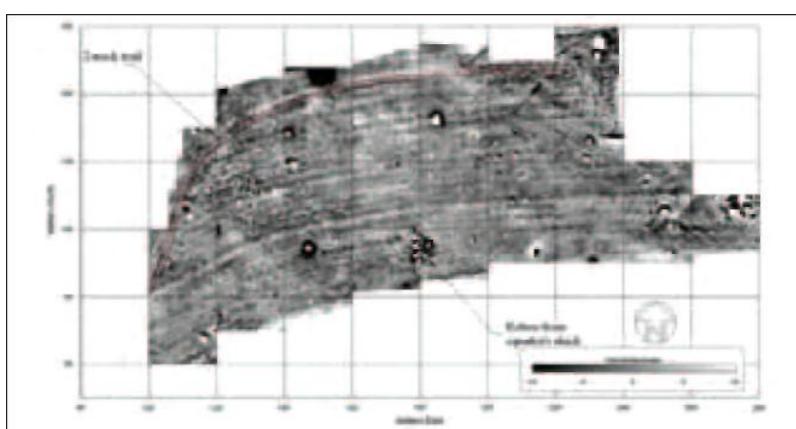
Были использованы две геофизические методики: первая – измерение магнитной интенсивности и градиента магнитометром Geometrics G858G с возможностями градиентометра. Вторая – измерение сопротивления грунта с помощью двойного зонда Geoscan RM15. Три участка были выбраны для измерений на основе геофизических данных.

Магнитная съемка предоставила более определенные результаты, нежели измерение сопротивления и обнаружила несколько ранее неизвестных на этом участке структур, две из которых были проверены раскопками. Здесь показаны структуры, наиболее хорошо обозначенные с помощью геофизической разведки. Данные указывал на наличие двух смежных строений по шесть комнат. Угол одной из них был проверен с помощью раскопок, чтобы определить, одно это строение или два. Раскопки определили, что строения не были соединены между собой. На южной стороне построек может находиться небольшой двор.

Использование геофизической съемки не только обозначило несколько структур, но и сделало возможным использование очень ограниченного объема работ для определения конкретных свойств строений.

Пример 4: участок Silvernale, Red Wing, штат Миннесота.

Silvernale содержит останки самой раннего и самого значительного из девяти крупных поселений, населенных между 950 и 1400 гг. н.э. на слиянии рек Cannon и Миссисипи. Между приблизительно 1050–1250 гг. н.э. (т.н. период Silvernale), имело место активное взаимодействие между жителями округа Red Wing, принадлежащими к разным культурам и следующими различным традициям. Этот феномен вызвал уникальное развитие региона, который является важным объектом антропологических исследований на протяжении 55 лет.



Карта магнитных градиентов с участка Silvernale.

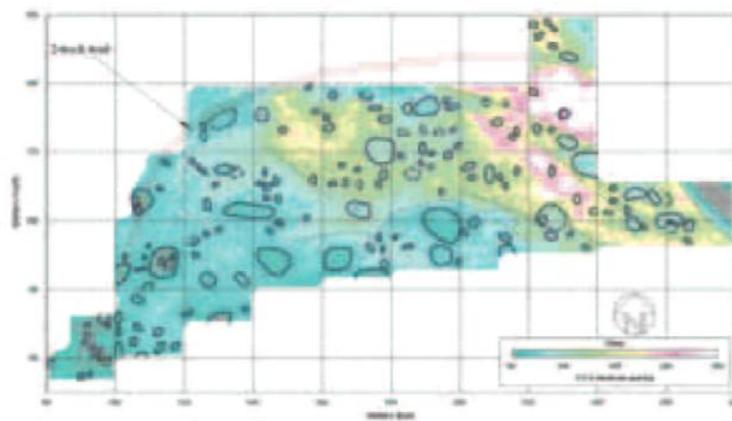


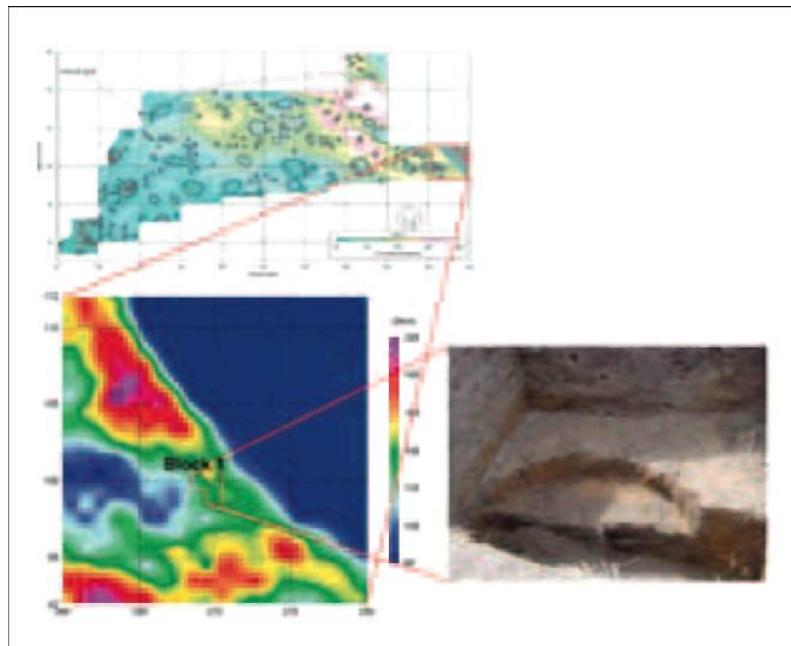
Схема расположения объектов, наложенная на карту сопротивления грунта с участка Silvernale..

Две методики были использованы для изучения распределения погребенных объектов Silvernale:

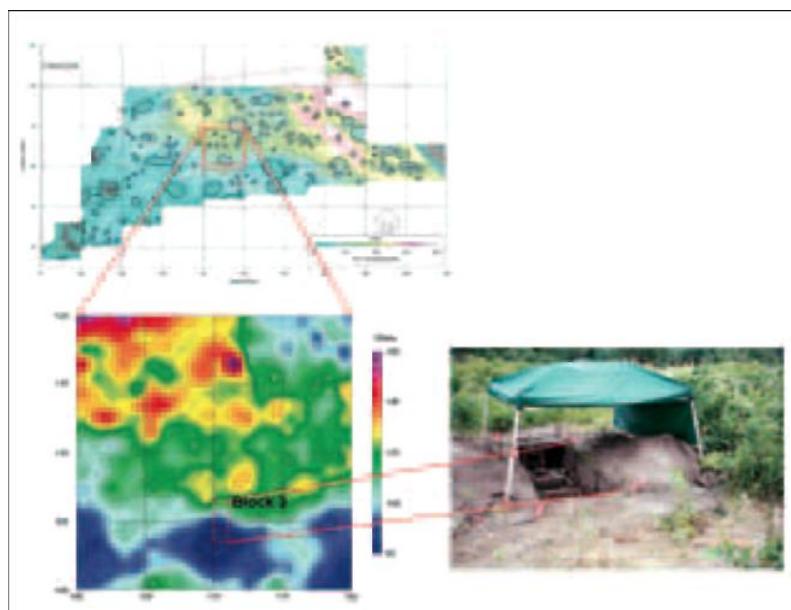
- Измерение напряженности магнитного поля и вертикального магнитного градиента с помощью магнитометра/градиометра Geometrics G858G; и
- Измерение методом сопротивления по постоянному току с помощью системы Geoscan RM15.

Данные магнитометра снимались вдоль разрезов с севера на юг, отстоящих друг от друга на 0.5 м. Считывание шло со скоростью 10/сек (расстояние около 11 см). Данные собирались в блоки размерами 20x40 м. Карты вертикальных градиентов и полного магнитного поля создавались после дополнительного редактирования и обработки. Явной чертой карты вертикального градиента является наличие линейных структур, вызванных плуговыми бороздами. Они видны на всей площади участка. Недалеко от северного края участка хорошо видна дорога. Несколько небольших по площади, но высокоамплитудных аномалий, скорее всего, вызваны наличием металлических объектов. Слабые аномалии, не связанные с сельским хозяйством, могут относиться к доисторическому периоду.

Данные по удельному сопротивлению считывались системой Geoscan RM15 вдоль разрезов с севера на юг, на расстоянии 1 м друг от друга в 20 м сетях. Измерения снимались через каждые 0.5 м с использованием двух разных разносов подвижных электродов на каждой точке: 0.5 м и 1 м. Почти все существенные различия в значениях удельного сопротивления на участке трактуются как вызванные естественными причинами (местная структура грунта). Области повышенного сопротивления обычно имеют высокое содержание песка, в то время как низкое сопротивление указывает на присутствие глины. Удельное сопротивление ниже всего в юго-западной части участка и выше всего на северо-востоке. Область низкого сопротивления на востоке вызвана недавним сбросом грунта на часть участка Silvernale, скорее всего, во время строительства промышленной зоны на прилегающей территории.

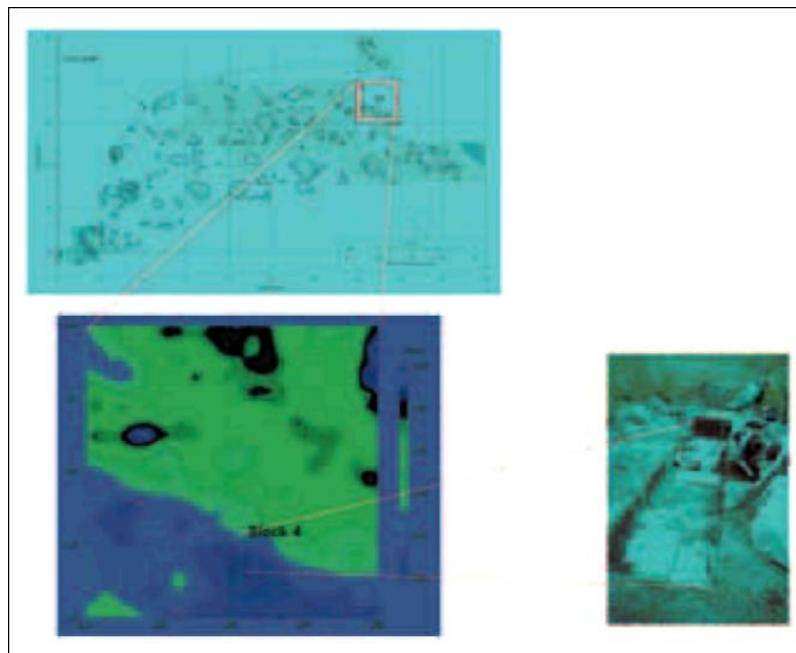


Раскопки блока 1: 15-20 см мусора под пашней, с независимой от них ямой внизу.



Раскопки блока 3 на месте низкого удельного сопротивления был обнаружен земляной пол.

Среди зон аномального сопротивления, на карте удельного сопротивления, объекты антропогенного происхождения Результаты, полученные с обоих обычно имеют пониженное сопротивление. Выгребные ямы обычно заполняются друг с другом: очаги пониженного материала с высоким содержанием сопротивления, зарегистрированные в органических веществах и обладают обоими наборами данных, с большой меньшей плотностью и более высоким вероятностью являются объектами, содержанием влаги, нежели окружающий представляющими археологический грунт, что создает пониженное сопротивление интерес. Визуальный анализ найденные. Многочисленные участковых объектов указывает на то, что они пониженного сопротивления были чаще всего бывают двух различных зарегистрированы в Silvernale и отмечены размеров: крупные объекты достигают



Раскопки блока 4 обнаружили слой органических остатков сразу под распаханной зоной толщиной 15-20 см, подобно слою, обнаруженному в блоке 1. Два объекта были обнаружены под этим слоем: яма с высоким содержанием органического материала (низкое удельное сопротивление) и яма, содержащая остатки обожженной посуды и других обожженных материалов (слабо повышенное сопротивление).

в длину около 7 м, в то время как меньшие по размеру объекты не превышают 2 м. Очаги низкого сопротивления, покрывающие более крупные площади, скорее всего, представляют полы домов или крупные слои органической материи, в то время, как меньшие обычно считаются ямами или подвалами. Точечные раскопки, проводимые студентами из университета Mankato State с 2003 по 2005 г. подтвердили большую часть геофизических данных, что продемонстрировано в сопутствующих фотографиях.

Список литературы

- Johnson, D., Carr, T., and Watters, M. [1999] *Geophysical Investigations at the Greenbrier Site, Site 3IN1, Batesville, Arkansas*, Hemisphere Field Services, Minneapolis, Minnesota, submitted to the Arkansas Archaeological Survey.
 Johnson, J.K., Stallings, R., Ross-Stallings, N., Clay, R.B., and V.S. Jones [2000] *Remote Sensing and Ground Truth at the Hollywood Mounds Site in Tunica County, Mississippi*. Prepared for the

Mississippi Department of Archives and History. Kvamme, K.L. [2001] *Final Report of Geophysical Investigations at the Mandan/Arikara Village, Fort Clark State Historic Site (32ME2)*, 2000. Archeo-Imaging Lab, Department of Anthropology and Center for Advanced Spatial Technologies, University of Arkansas, Fayetteville, Arkansas, submitted to PaleoCultural Research Group, Flagstaff, Arizona and the State Historical Society of North Dakota, Bismarck, North Dakota.

Kvamme, K.L. [2002] *Report of Geophysical Findings at the Double Ditch State Historic Site (32BL8): 2001 Investigations*. Submitted to Paleo-Cultural Research Group, Flagstaff, Arizona, on file at the State Historical Society of North Dakota, Bismarck. Lockhart, J.J. [2001] *Exploratory Archaeogeophysics at Toltec Mounds Archaeological State Park (3LN42), Mound G*. Internal Arkansas Archaeological Survey project report on file, Arkansas Archaeological Survey, Fayetteville.

Powell, J.W. [1894] *Twelfth Annual Report of the Bureau of Ethnology to the Secretary of the Smithsonian Institution, 1890-1891*, Government Printing Office, Washington, DC.

