

ПРИМЕНЕНИЕ GPS-АППАРАТУРЫ TRIMBLE ДЛЯ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

О.Н. Помогаев («АГП Навгеоком»)

В 1998 г. закончил Московский государственный университет геодезии и картографии по специальности «космическая геодезия». В настоящее время является руководителем технического отдела «АГП Навгеоком».

НПЦ «Геотехнология» и Центр египтологических исследований РАН при участии «АГП Навгеоком» в ноябре — декабре 2001 г. провели комплексные исследования, включая археологические, геофизические и геодезические работы, для восстановления достоверного облика ландшафта и изменений условий его формирования в течение длительного исторического времени в районе Ком Туман (Гиза) на территории древней столицы Египта — Мемфиса.

▼ Краткая справка о стране

Египет — это одно из крупнейших арабских государств общей площадью 101,4 тыс. км², расположенное на двух континентах: большая часть лежит в северо-восточной Африке вдоль реки Нил, а Синайский полуостров находится в Азии. С севера берега Египта омываются Средиземным морем, на востоке — Красным морем. Государство на северо-востоке граничит с Израилем, на западе — с Ливией, на юге — с Суданом. Большая часть Египта состоит из пустынных районов с редкими оазисами и находится достаточно высоко над уровнем моря.

Климат Египта — жаркий тропический, субтропический (на побережье Средиземного моря) и континентальный. Зимой температура воздуха со-

ставляет от +15 до +25°C. Осадков выпадает не более 200 мм в год. На территории большей части страны бывают периоды по 2–3 года, когда осадки не выпадают совсем. Для всего Египта характерны большие суточные колебания температуры, например, в ноябре в полдень температура может достигать +28°C, а к полуночи упасть до +10°C. В зимний и весенний периоды часто дует сухой горячий ветер «хамсин», температура в этот период может повышаться от +40 до +45°C, а влажность падает до 10% и ниже. Периодически случаются песчаные бури.

▼ Условия работы

Условия для работы были оптимальные, учитывая теплую погоду в сочетании с невысокой

влажностью, за исключением «хамсина», который поднимал на участке раскопок пыль, что могло помешать геодезическим работам при использовании традиционного оборудования, например, теодолита, но с GPS никаких трудностей не возникло.

▼ Место проведения исследований

Участок, общей площадью около 20 га, находится на левобережной части долины Нила, примерно в 3 км к востоку от пирамид Саккары. Рельеф территории слабо всхолмлен с перепадом высот от 18 до 25 м над уровнем моря. С запада участок граничит с дворцом Априя, а с других сторон ограничивается сельскохозяйственными угодья-



Рис. 1

Базовая станция GPS, установленная на репере

ми. Незначительные площади занимают солончаки и заболоченные участки. Т. е. практически вся территория участка представляет собой открытое пространство, что было удобно для использования GPS-аппаратуры.

Геодезические работы

Геодезические измерения проводились двумя двухчастотными приемниками GPS геодезического класса серии 4000SSE компании Trimble Navigation (США). Анализ результатов осуществлялся с помощью программных продуктов Trimble Geomatics Office версии 1.5 и Golden Software Surfer 7.0. Кроме того, один из приемников был установлен на заранее смонтированном репере и постоянно работал в режиме базовой станции (рис. 1), а второй использовался в качестве съемочного.

Привязка базовой станции к опорной сети

Установка опорной базовой станции на новом объекте является важной задачей при работе с GPS-аппаратурой. Поэтому, для обеспечения сохранности в одной из самых высоких точек рельефа был заложен постоянный репер, на котором располагалась базовая станция в течение всего полевого сезона. Помимо этого, была заложена дублирующая точка, на которую были переданы координаты.

При составлении технического задания для выполнения геодезических работ было определено, что в целях более точной привязки к существую-

щим фундаментальным опорным геодезическим сетям желательна привязка к какой-либо известной системе координат с возможностью контрольного пересчета по «сырым» данным для независимых организаций. Для того, чтобы материалы, собранные экспедицией, могли быть использованы любой последующей группой исследователей, в качестве основной была выбрана система координат WGS-84 с привязкой к пунктам International GPS Service for Geodynamics (IGS, <http://igs.cb.jpl.nasa.gov>). Так как «сырые» данные станций IGS свободно публикуются в Интернет, потребовалось лишь обеспечить достаточно продолжительный период наблюдений, чтобы получить возможность привязки к референцной сети (рис. 2).

К сожалению, для самого близко расположенного пункта в г. Хилван (Египет) данные на текущий период отсутствовали. В связи с этим, в качестве опорных пунктов с привязкой к базовой станции были выбраны две станции, расположенные в Израиле, и по одной в Сирии и на Кипре (табл.1).

Вычисления были выполнены с использованием точных эфемерид GPS-спутников. Средняя длина базовой линии в сети составила примерно 450 км. После уравнивания в системе WGS-84 были получены координаты базовой станции с точностью 6 см в плане и 50 см по высоте относительно референчных пунктов.

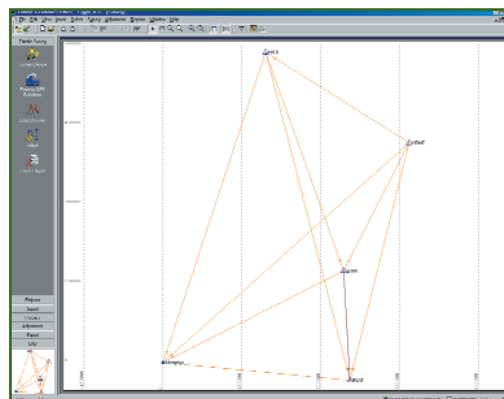


Рис. 2
Внешний вид сети, использовавшейся для привязки к пунктам IGS

Съемка участка археологических раскопок

Следующим этапом стало построение детальной цифровой модели участка местности раз-

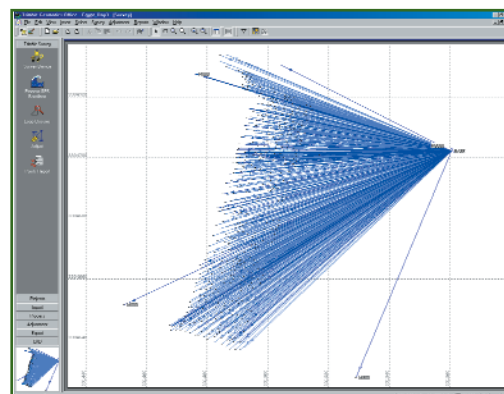


Рис. 3
Результаты кинематической GPS-съемки, полученные за рабочий день

мером 80x100 м. Затем по результатам предварительного осмотра был выявлен наиболее перспективный участок, на котором и были проведены детальные совместные археологические, геофизические и геодезические работы.

Географические координаты в системе WGS-84 исходных пунктов, приведенные на эпоху 2002.0027				Таблица 1
Название станции	Страна	Широта, град.	Долгота, град.	Высота, м
Elat	Израиль	29,50927819	34,92059900	29,549
Lhav	Израиль	31,37782108	34,86630808	488,921
Udmc	Сирия	33,51019575	36,28523097	748,667
Nico	Кипр	35,14098547	33,39644507	190,011

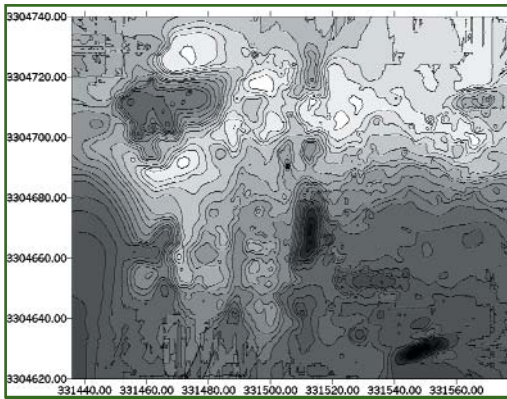


Рис. 4
Результаты обработки съемки рельефа

После выполнения рекогносцировки района работ была определена оптимальная методи-

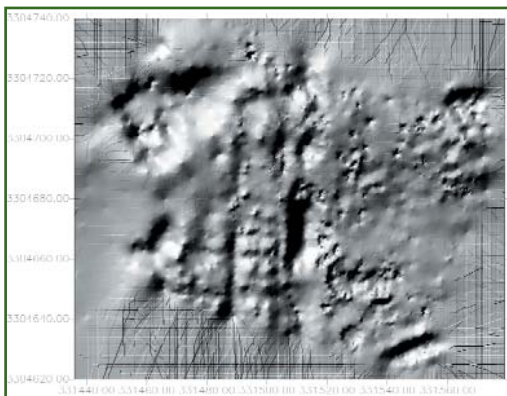


Рис. 5
Трехмерный рельеф участка работ, построенный по технологии Shaded Relief Map

ка GPS-съемки рельефа — «непрерывная кинематика», которая позволяла за короткий промежуток времени измерить большое количество точек с точностью до 1 см (рис. 3).

Перед началом работ участок размером 80x100 м был разбит на квадраты со стороной 20 м. Таким образом, была создана сеть каркасных точек. Передвижной комплект состоял из приемника GPS Trimble 4000SSE, находившегося в рюкзаке оператора, а на вешке была установлена антенна и контроллер TSC1. Процесс съемки контролировался оператором с помощью контролера, что позволяло задавать имена точек и атрибутивную информацию непосред-

венно в поле. Интервал записи данных базовой станции составлял 5 с. Все каркасные точки участка были сняты в режиме кинематики «Stop & Go», после чего точки заполнения регистрировались каждые 10 с в непрерывной кинематике. За это время оператор успевал пройти необходимое расстояние и точно установить вешку над точкой съемки, предварительно выставив круглый уровень.

Так как информация о состоянии пунктов египетской государственной геодезической сети на данную территорию отсутствовала, было принято решение взять за основу систему координат UTM (табл. 2). За неделю было измерено около 5000 точек на площади 80x100 м, что обеспечило беспрецедентную плотность съемки для подобных приложений. После обработки был построен детальный рельеф участка (рис. 4).

С учетом того, что геофизические данные обрабатывались с помощью программного обеспечения Surfer, был построен трехмерный рельеф с эмуляцией искусственного освещения от Солнца (рис. 5). В результате на поверхности отчетливо проявились пересекающиеся линейные структуры, напоминающие остатки древних кварталов. Кроме того, стало видно строгую ориентировку комплекса по направлению север-юг, косвенно подтверждая искусственное происхождение древних сооружений. Следует отметить, что, осматривая участок визуально,

было сложно представить подобную картину.

Безусловно, эти данные составляли кульминацию геодезических работ экспедиции. Однако для не менее важных, но более рутинных задач необходимо было провести общую съемку территории и осуществить привязку объектов, интересных для археологов.

Съемка территории, прилегающей к раскопкам

Измерения проводились в кинематическом режиме. По результатам работ был построен рельеф участка (рис. 6), а также составлены подробные топографические планы масштаба 1:500 площади магнитной съемки и юго-восточной части территории.

С помощью программного обеспечения Trimble Geomatics Office был построен тематический план участка, на котором однотипные группы археологических объектов были разбиты по слоям. Это стало возможным, благодаря своевременному кодированию объектов в поле, поэтому обработка происходила практически в автоматическом режиме.

На топографических планах просматриваются линейные объекты, которым необходима археологическая интерпретация. Помимо этого, были определены координаты границ площадных геофизических съемок, геофизических профилей, геологических, археологических и прочих объектов. Для геологической интерпретации в режи-

Использованные параметры картографической проекции UTM Zone 36 N **Таблица 2**

Параметр проекции	Значение
Начальная широта	0°00'00"N
Долгота центрального меридиана	33°00'00"E
Смещение по оси x, м	0
Смещение по оси y, м	500000
Масштабный коэффициент	0,9996

ме «быстрая статика» были измерены координаты трех точек: урез уровня воды реки Нил, уровень грунтовых вод в районе дворца Птаха и терраса в районе Саккары.

▼ **Результаты работ по другим направлениям исследований**

Археология

По данным съемки был построен детальный топографический план объекта, на котором показано местоположение найденного материала и предполагаемых площадных археологических объектов. Материалы в настоящее время анализируются, и на их основе археологи разрабатывают место и методику проведения детальных раскопок.

Кроме того, изучены и описаны многочисленные скопления разрушенных архитектурных фрагментов. Во время осмотра территории были обнаружены образцы незаконченных алебастровых сосудов, а также уникальные находки.

Геофизика

При проведении геофизических и геологических исследований был задействован целый спектр методов, таких как, магниторазведка, бесконтактное электрическое зондирование, вертикальное электрическое зондирование, георадиолокация. Следует отметить, что ана-

лизируя данные, полученные при выполнении геофизических и геодезических работ, были выявлены наиболее интересные результаты.

На рис. 7 можно увидеть карту изолиний напряженности магнитного поля, построенную по данным магниторазведки, и карту, построенную по данным топографической съемки. Рисунок магнитного поля на участке работ формируется за счет магнитных отложений верхнего слоя (силт), мощность которого в районе работ составляет 10—15 м. Амплитуда рельефа на участке не превышает 3 м. Таким образом, аномалии магнитного поля хорошо коррелируют с формами рельефа, которые полностью сложены магнитными отложениями верхнего слоя.

Разведка всеми методами, предшествующая раскопкам, крайне важна для формирования наиболее приемлемой стратегии поиска. Только комплексные работы могут дать возможность достоверно восстановить облик ландшафта и изменения условий его формирования в течение длительного исторического времени. При этом использование GPS-аппаратуры геодезического класса помимо быстрого и эффективного метода съемки рельефа позволяет получать уникаль-

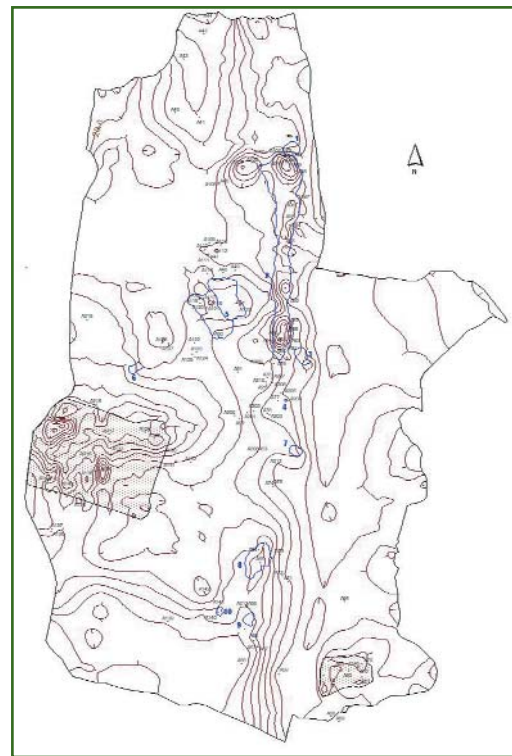


Рис. 6
Топографический план, построенный по результатам GPS-съемки (масштаб 1:4000)

ные результаты. Уже сейчас видно, что комплексные археологические, геофизические и геодезические исследования доказали существование многочисленных погребенных архитектурных сооружений. В 2003 г. Центр египтологических исследований планирует начать полномасштабные раскопки в Ком Тумане.

▼ **Благодарности**

Автор хотел бы поблагодарить А.Т. Пелевина, М.Я. Каца, С.Б. Соколова и всех сотрудников НПЦ «Геотехнология» за прекрасную организацию работ в Египте и помощь при подготовке окончательных результатов.

Также отдельное спасибо госпоже Г.А. Беловой и всем сотрудникам Центра египтологических исследований РАН за помощь и содействие при проведении работ и потраченное личное время на объяснение множества археологических и исторических вопросов.

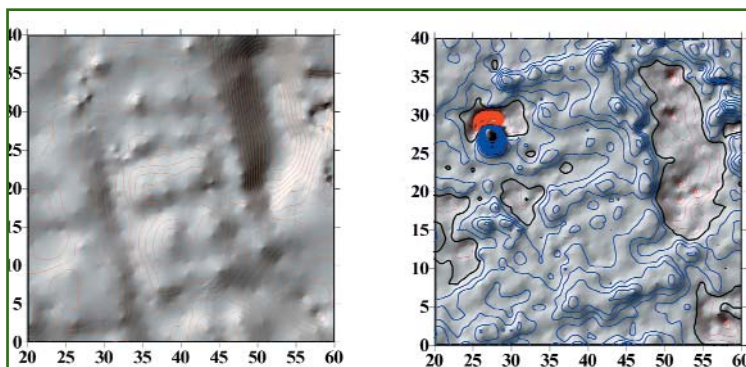


Рис. 7
Карты изолиний, построенные по данным GPS (слева) и магнитной геофизической съемки