

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЛЕВЫХ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ И ЭТНОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕТОДАМИ АРХЕОЛОГИЧЕСКОЙ ГЕОДЕЗИИ

Е.Г. Вергунов, Ю.А. Крейдун, А.В. Постнов

В работе рассматривается специфика навигационного и геодезического обеспечения полевых археологических и этнографических исследований (НиГОВАЭИ) как части археологической геодезии – нового раздела геодезии, предлагаемого авторами на основе результатов своих многолетних исследований. Анализируются принципы формирования точности НиГОВАЭИ, предлагается оригинальная методика реализации НиГОВАЭИ, в т.ч. геодезического сбора данных для географических информационных систем (ГИС) как продукта полевых исследований.

Введение

Применение современных методик в археологических и этнографических полевых исследованиях, визуализация собранных материалов и представление полученной информации в виде тематических геоинформационных систем (ГИС) невозможно без должного информационного обеспечения [1]. Неотъемлемую часть информационных ресурсов, создаваемых при полевых исследованиях, составляет геодезическая информация – координаты точек местности и результаты линейных, угловых и высотных измерений.

Отсутствие нормативной базы навигационного и геодезического обеспечения археологических и этнографических исследований (НиГОВАЭИ), соответствующей современному научному и техническому уровню геодезических методик [1, 2, 3] порождает ряд противоречий при внедрении современных технологий полевых исследований [1] и разработке ГИС.

Формальное использование в НиГОВАЭИ нормативов для выполнения других геодезических работ приводит к необоснованным затратам времени, сил и средств. Общие требования к геодезическому обеспечению описываемых в отчёте археологических источников не учитывают нюансы, возникающие при изучении того или иного памятника для различных целей в пределах даже одного вида исследовательских работ.

Более того, при ведении разведочных работ археологи не всегда могут предъявить Полевому комитету фактологический материал, собранный в дополнение к основным исследованиям в рамках одного проекта. С точки зрения задач проекта – нет необходимости для геодезических работ высокого уровня при изучении материала второстепенной важности, а с точки зрения бюджета проекта – нет

средств и времени для выполнения общих требований по геодезическому обеспечению внеплановых объектов [1].

Геодезические нормативные требования задаются, прежде всего, точностными параметрами. Эти параметры, в свою очередь, определяют выбор методов и разработку рациональных методик организации и производства работ.

Поскольку существующие требования к геодезическому обеспечению полевых исследований были разработаны без должной методической и метрологической базы, то необходимы новые, научно обоснованные принципы формирования точности, проектирования и организации навигационных и геодезических работ именно для целей археологических и этнографических исследований [1].

Только тогда появятся реальные предпосылки для создания действительно эффективных ГИС регионального масштаба археологического или этнографического характера.

Цель и задачи исследования

Цель исследования – разработать основные принципы формирования точности НиГОВАЭИ, организации и проведения геодезических работ. Для достижения намеченной цели необходимо было решить следующие задачи:

- изучить традиционные схемы формирования точности в прикладной геодезии;
- провести анализ формирования точности НиГОВАЭИ;
- разработать оптимальную технологическую реализацию НиГОВАЭИ.

Материалы и методы

Исследования выполнялись на материалах специальных геодезических работ

(1996 - 2003 гг.), на многослойных памятниках каменного века Горного Алтая: Карама, Усть-Канская пещера, Денисова Пещера, Усть-Каракол-1, Чарышский навес и ряда других. Эти памятники изучаются много лет Институтом археологии и этнографии СО РАН под руководством академика А.П. Деревянко [1,2]. Отдельные вопросы проведения НиГОАЭИ апробировались на специально созданном исследовательском полигоне на Усть-Канской пещере [1, 2].

В качестве методов решения поставленных задач были использованы различные технические элементы прикладной геодезии, такие как привязка общего местоположения археологических объектов, разбивка пространственной физической сетки съёмочного обоснования на конкретных раскопах, их детальная исполнительная съёмка в процессе выполнения раскопок и другие

В настоящей работе решение вышеизложенных задач иллюстрируется примерами организации и проведения НиГОАЭИ

- при полевой разведке остатков памятников Православной Алтайской духовной миссии, организованной Барнаульской Епархией в 2003 года,

- при проведении раскопок Усть-Канской пещеры (1999-2003гг.) – широко известного многослойного памятника Горного Алтая каменного века.

Результаты исследований

1. Изучение традиционных схем формирования точности геодезических работ показало их неприменимость в качестве единого стандарта для всех этапов обеспечения полевых археологических и этнографических полевых исследований

Более того, погрешности взаимного расположения пунктов съёмочного обоснования на объекте археологического исследования при привязке традиционными способами к исходной геодезической основе всегда будут выходить за рамки требований к точности работ – относительных погрешностей, рассчитанных на основе нормативных требований, установленных отделом полевых исследований в настоящее время.

Принцип ничтожных значений обеспечивает такую организацию работ, при которой погрешности предыдущего этапа работ (например, исходной геодезической основы) не должны оказывать существенного влияния на точность текущего этапа работ (например, топографической съёмки). Метрологическим

критерием в нашем случае может служить величина порядка 0,3. К примеру, если суммарные погрешности создания или развития съёмочного обоснования составляют менее одной трети от нормативных значений погрешности съёмки, то влияние погрешностей съёмочного обоснования - величину порядка $(1^2+0,3^2)^{1/2}-1=0,044\sim 4,5\%$ от общей погрешности топографических работ на объекте. Погрешностью такой величины действительно можно пренебречь в нашем случае.

Принцип сохранения единства масштаба лежит в основе организации работ, при которой поддерживается единая величина абсолютной погрешности положения пунктов на всех этапах, а её значение определяется по нормативным требованиям к точности конечного результата. Для этого на каждом этапе рассчитывается своя величина относительной погрешности, соответствующая заданной абсолютной погрешности и длинам проектируемых линий. Погрешности взаимного расположения пунктов съёмочного обоснования на объекте археологического исследования при привязке традиционными способами к исходной геодезической основе всегда будут выходить за рамки требований к точности работ – относительных погрешностей, рассчитанных на основе нормативных требований, установленных отделом полевых исследований в настоящее время.

Более подробно рассмотрим конкретные примеры.

Создаваемый при археологической разведке топографический план археологической памятников должен иметь масштаб не мельче 1:1000 [1]. Из принципа ничтожных значений следует, что предельная погрешность взаимного положения пунктов съёмочного обоснования не должна превышать 30 см или 0,3 мм в масштабе плана. На основе принципа сохранения единства масштаба и нормативов топографической съёмки получим величину предельной погрешности 50 см или 0,5 мм в масштабе плана. Создание съёмочной сети с такой точностью проблемы не составляет. Весьма проблематичной будет привязка к государственной системе координат при длине маршрута, например в 50 км с предельной относительной погрешностью геодезических измерений 1/100000 (0,5 м:50000 м), нормативе времени один день на каждый археологический памятник, составе бригады 2-3 человека. Реальные длины маршрутов в слабоизученных (труднодоступных

или малообжитых) районах составляют многие сотни километров.

Создаваемый при археологических раскопках топографический план раскопа, шурфов и т.д. должен иметь масштаб не мельче 1:20 [1]. Из принципа ничтожных значений следует, что предельная погрешность взаимного положения пунктов съёмочного обоснования не должна превышать 6 мм (0,3 мм в масштабе плана). На основе принципа сохранения единства масштаба и нормативов топографической съёмки получим величину предельной погрешности 10 мм (0,5 мм в масштабе плана). При размерах физической сетки координат раскопа 20 м × 10 м × 6 м относительная погрешность взаимного положения перекрестий проволоочной сетки в плане и по высоте предполагает работы по разбивке метровых квадратов сетки координат с точностью от 1/2000 до 1/5000, что достижимо при использовании соответствующих методик и инструментов. Геодезическая привязка самого разведочного шурфа или раскопа к государственной системе координат с точностью 1-2 см нереальна. То же самое можно сказать и о единой сетке координат для нескольких раскопов одновременно, если они расположены хотя бы в десяти километрах друг от друга.

2. Анализ формирования точности НиГОВАЭИ свидетельствует о том, что его направление противоположно принятому при построении Государственной геодезической сети (ГГС)

Принцип формирования точности построения ГГС – переход от общих, более точных измерений к частным, менее точным. Принцип формирования точности НиГОВАЭИ – переход от общих менее точных координатных определений на сравнительно больших участках территории к частным более точным определениям взаимного положения снимаемых точек на объектах работ.

В соответствии с современным подходом к вопросам формирования точности для подобных изысканий [1] ориентирование объектов археологических и этнографических исследований предлагается производить с невысокой точностью, которая обеспечивает лишь их отыскание на местности и нанесение на топографические карты требуемых масштабов. В таком случае, масштабирование результатов исполнительной съёмки раскопов следует выполнять с высокой точностью относительно закреплённой на раскопе трёхмерной физической сетки координат. При

этом по аналогии с межмасштабным трансформированием и регенерализацией инженерно-топографических планов [1] точность разбивки самой пространственной сетки координат должна быть оптимально согласована с точностью съёмки раскопа. По аналогии с развитием разбивочных сетей в строительстве эталоны НиГОВАЭИ в целом могут быть не связаны с точностными параметрами, так как их назначение заключается только лишь в обеспечении исполнительной съёмки деталей раскопа – по сути, трёхмерная фиксация находок на послойном плане памятника.

Однако процедура масштабирования и ориентирования результатов геодезических работ осложняются другой спецификой НиГОВАЭИ – разбросом линейных параметров на величину, составляющую несколько порядков значимости.

При привязке относительно пунктов ГГС расстояние от объекта работ до исходных пунктов хотя бы III класса может иметь порядок десятка километров (особенно в малообжитых районах), а требования к точности съёмки ситуации, например, для археологических исследований определяются масштабным рядом планов от 1:10 до 1:1000 [1]. В настоящее время при ведении археологических и этнографических разведок длина маршрута может исчисляться сотнями километров. За отведённое археологическими нормативами время привязку самого маршрута разведки можно осуществить только по картам масштабов 1:500000 и мельче. При производстве археологических раскопок привязка участка работ делается в лучшем случае по топографической основе масштабов от 1:10000 до 1:25000, топографические съёмки более крупных масштабов на требуемую территорию зачастую просто не производились. Точность привязки к топографической карте масштаба 1:25000 без учёта деформации бумаги и полиграфического брака:

- при использовании плановых координат пунктов ГГС, взятых из каталога координат пунктов ГГС – 2,5 м, полученных картометрическим способом – 7,5 м;

- при использовании картометрического способа определения координат твёрдых контуров или отдельно стоящих предметов – 12,5 м, а «нетвёрдых» контуров или форм рельефа – 25 м и более. Погрешность абсолютной высотной отметки в малодоступных залесённых районах может достигать высоты сечения рельефа.

3. Разработанная оригинальная технологическая реализация НиГОАЭИ свидетельствует о том, что выделение НиГОАЭИ в отдельный вид работ и формирование точности НиГОАЭИ по новым научно обоснованным принципам на основе центрирования и масштабирования измерений даёт перспективное направление для решения вопросов геодезического обеспечения археологических и этнографических полевых исследований

Государственную геодезическую сеть можно использовать только для *центрирования* и *ориентирования* результатов геодезических измерений на участке работ, а камеральная обработка должна строиться в предположении, что сеть пунктов съёмочного обоснования является свободной. Авторами разработаны оригинальные способы уравнительных вычислений опорных сетей [6, 11]. Абсолютные погрешности геодезических работ на разных этапах археологических исследований, полученные формально по существующим нормативным требованиям на другие виды геодезических работ [1] не сохраняют единство масштаба. Это приводит к необходимости согласования результатов геодезических работ различной точности в единое целое (*масштабирование* измерений на объекте). Аналогичные рекомендации будут и для работ по геодезическому обеспечению полевых этнографических исследований.

4. Сравнительная оценка разработанных методик показала эффективность внедрённой методологии, основанной на комплексном использовании спутниковых (навигационных) методов позиционирования (включая определение и учёт деформации сети ГГС на участке работ) и наземных инструментальных (точных) геодезических измерений [1, 2, 3]

Стоимость высокоточных геодезических спутниковых приёмников с требуемым программным обеспечением и отсутствие в нашей стране системы коммерческого обеспечения дифференциальными поправками не позволяют широко использовать высокоточные геодезические спутниковые наблюдения для нужд полевых археологических и этнографических исследований. Поэтому организационно и экономически обосновано предлагаемое для НиГОАЭИ оригинальное применение сравнительно недорогих навигационных GPS-приёмников [1] – портативных кодовых одночастотных спутниковых приемни-

ков системы GPS. Новая методика включает в себя:

- навигационные координатные определения точностью 1-5 м;
- линейные измерения с требуемой точностью (от миллиметров до дециметров);
- камеральную обработку и уравнительные вычисления, позволяющие снизить погрешности взаимного положения пунктов способом, который используется для кадастровых работ [6]. Основные положения для составления программы работ следующие:

1. Предельная абсолютная *погрешность координирования опорных пунктов* (для примера возьмём карту масштаба 1:25000) составляет $2 \times 2,5 \text{ м} = 5 \text{ м}$, что позволяет использовать возможности относительных координатных определений с помощью только навигационных GPS-приёмников для получения приращений координат по отношению к исходным пунктам. В малообжитой местности, где расстояния до исходных пунктов могут составлять 15 км и более, это самый эффективный способ получить координаты опорных пунктов с точки зрения срока окупаемости капитальных вложений, точности и себестоимости производства работ. Традиционная альтернатива – создание ходов привязки с предельной относительной погрешностью порядка 1/3000 (5 м:15000 м) требует соответствующих инструментов и квалификации от археологов-исполнителей.

2. Предельная абсолютная *погрешность взаимного положения перекрестий* физической пространственной сетки координат раскопа (для плана масштаба 1:20) составляет $4 \div 6 \text{ мм}$ ($0,2 \div 0,3 \text{ мм} \times 20$) по топографическим нормативам. Это позволяет использовать ручной безотражательный лазерный дальномер типа «лазерная рулетка» с предельной погрешностью порядка 3 мм на расстояниях до 100 м и лазерный нивелир с предельной погрешностью передачи превышений 6 мм на 10 м. Традиционное применяемое археологами оборудование (геодезическая рулетка, теодолит и нивелир) менее удобно для этих целей при сравнимой стоимости. Эта идея имеет и своё дальнейшее развитие – хорошие лазерные построители плоскостей ещё пока слишком дороги для массового применения, но в течение ближайших лет станут доступными для бюджета археологического отряда.

3. Предельная абсолютная *погрешность фиксации находок* на плане масштаба 1:20 относительно физической сетки координат

нат – $2 \times 0,5 \text{ см} = 1 \text{ см}$ позволяет делать замеры с помощью геодезической рейки или геодезической рулетки – требуемая предельная относительная погрешность $1 \text{ см} : 1 \text{ м} = 1 : 100$.

Геодезическое обеспечение полевой разведки памятников Православной Алтайской духовной миссии (Горный Алтай, 2003 г.)

Особое значение приобретает предлагаемая методика при выявлении культурно-исторических памятников в малонаселенных и труднодоступных районах. Координирование объектов в дополнении к научному описанию их остатков в значительной мере облегчит процесс музеефикации и делает возможным включение вновь выявленных памятников в культурную среду. На территории привлекательного во многих отношениях региона – Горного Алтая – помимо десятков известных археологических памятников имеется множество этнографически ценных объектов. Это, в первую очередь, касается памятников истории XIX–XX вв.: остатки церковных зданий, монастырских сооружений Алтайской духовной миссии, действовавшей на территории Алтая с 1830 года, а также следы концентрационных лагерей времен политических репрессий. Поиск таких объектов затруднён либо совсем невозможен без старожилов-проводников, которых, вследствие давности событий, становится все меньше и меньше. Благодаря использованию новой методики повторное посещение исторических памятников требует минимальные затраты времени и значительно облегчается даже при отсутствии проводников. Вышеизложенные принципы были практически использованы при проведении полевой разведки остатков памятников Алтайской духовной миссии, организованной Барнаульской епархией в 2003 г. В результате экспедиционной работы в летний и осенний периоды удалось обнаружить и описать сохранившиеся остатки 69 церковных строений или их бывшее местоположение. Четыре сруба были перенесены на новые места, поэтому было всего обследовано 73 объекта. В том числе 12 оригинальных срубов, 9 перестроенных срубов, 12 фундаментов и нижних венцов, по воспоминаниям старожилов было установлено ориентировочное местоположение сорока полностью утраченных церквей. Дополнительно было закоординировано 44 других памятника истории.

При геодезическом обеспечении этнографической экспедиции 2003 г. использо-

вался метод археологической геодезии – предлагаемая методика НИГООАЭИ на основе комбинации навигационных и инструментальных методов координирования. Было решено соблюдать тридцатиметровый рубеж точности абсолютных значений координат. Это гарантирует, что при дальнейшей работе не придётся использовать режимы особого доступа (ДСП, С, СС) к материалам экспедиции. Ниже описаны выполненные геодезические работы.

1. Привязка маршрута и спутниковых навигационных определений местоположений памятников производилась в системе координат общего земного эллипсоида WGS-84 с помощью GPS-навигатора фирмы GARMIN. Фиксировались в журнале наблюдений значения координат в виде широты и долготы с точностью не более одной угловой секунды – одна секунда по широте и долготе в районе работ приблизительно равна 31 и 19 метрам соответственно.

2. В случае помех для непосредственных спутниковых наблюдений местоположение нужных точек вычислялось из решения геодезических задач по их привязке к точкам с более благоприятными условиями спутниковых наблюдений (опорным пунктам).

3. При наличии на месте памятника самой постройки или её фундамента значения координат углов памятника, полученных из навигационных определений с точностью до метров, пересчитывались в прямоугольную шестиградусную проекцию Гаусса-Крюгера и для дальнейшей обработки использовались «урезанные» значения X и Y . В записи полных значений координат убирались значащие знаки слева вплоть до километров включительно.

4. Планы памятников составлялись на основе линейных измерений сторон построек обычной или лазерной рулеткой. Затем измерения уравнивались по методу наименьших квадратов как свободные геодезические построения, причём в качестве значений параметров для уравнивания выступали «урезанные» значения прямоугольных координат, полученные из спутниковых определений.

5. Визуализация полевых измерений, как один из этапов разработки ГИС, производилась путём нанесения полученных данных на картографические основы в системе координат общего земного эллипсоида WGS-84:

- растровые карты разрешением 816,1 метров на пиксель из «Atlas of the world» ©Falk-Verlag AG, 1998;

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЛЕВЫХ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ И ЭТНОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕТОДАМИ АРХЕОЛОГИЧЕСКОЙ ГЕОДЕЗИИ

- растровые спутниковые псевдообъёмные спектрональные снимки разрешением 28,5 метров на пиксель ©NASA, 2002;

- листы векторного атласа мира «MapSource™ World Map 2.0» ©Garmin Corporation 1995-99 (рис. 1).

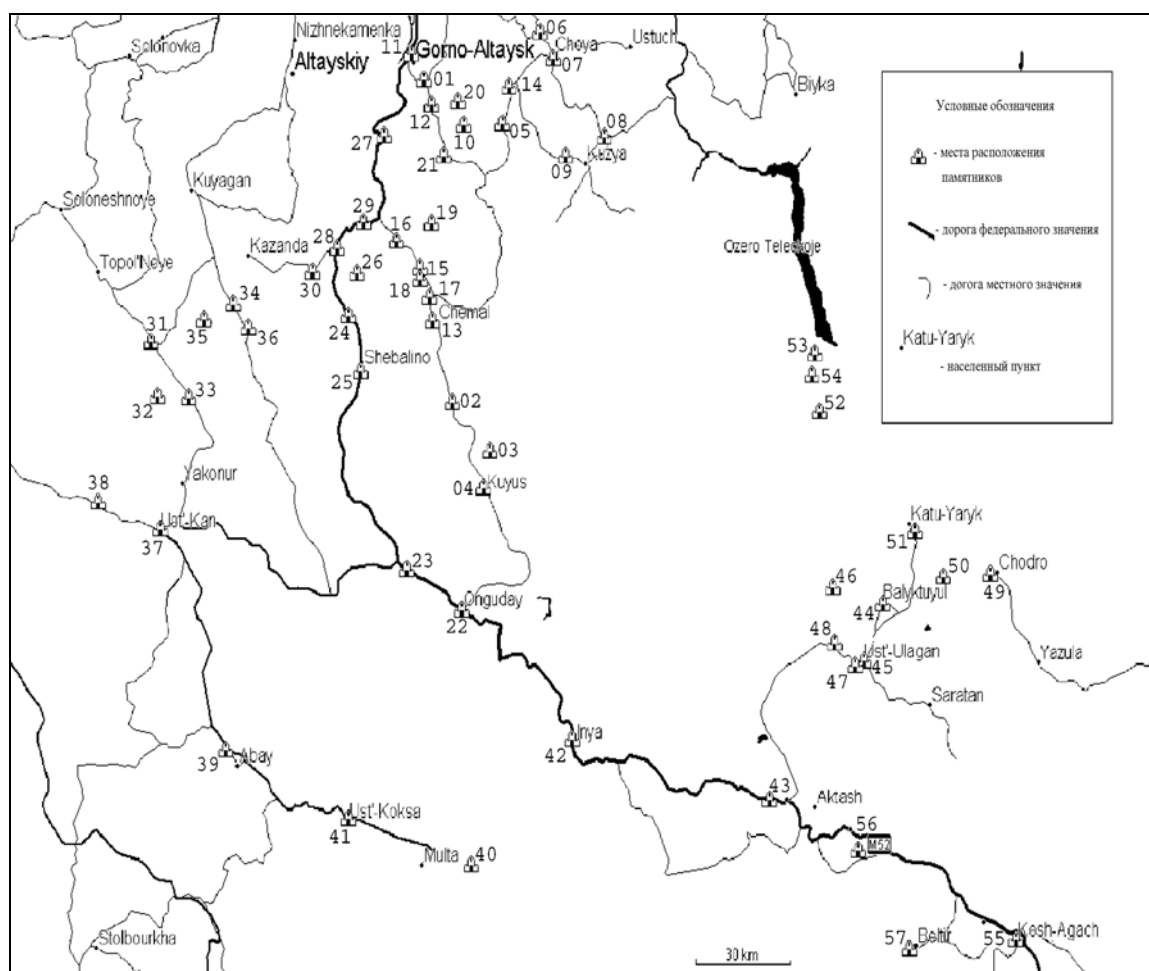


Рис. 1. Пример визуализации местонахождений отдельных памятников и комплексов построек Алтайской Духовной миссии по данным спутниковых GPS-наблюдений с помощью векторного атласа мира «MapSource™ World Map 2.0»: 01 - Горно-Алтайск, 02 - Еланда, 03 - Эдиган, 04 - Куюс, 05 - Салганда, 06 - Абабково-Киска, 07 - Чоя-Русаковская, 08 - Инырга, 09 - Никольское, 10 - Карасук, 11 - Майма, 12 - Кызыл-Озёк, 13 - Чемал, 14 - Паспаульский храм, 15 - Узнезя, 16 - Чолош, 17 - Эликмонар, 18 - Анос, 19 - Бешпельтир, 20 - Александровка, 21 - Бирюля, 22 - Онгудай, 23 - Туэкта, 24 - Мыюта, 25 - Шебалино, 26 - Актел, 27 - Манжерок, 28 - Черга, 29 - Камлак, 30 - Улус-Черга, 31 - Чёрный Ануй, 32 - Усть-Мута, 33 - Белый Ануй, 34 - Ильинка, 35 - Мариинск, 36 - Ильинка Инородческая, 37 - Усть-Кан, 38 - Тюдрала, 39 - Абай, 40 - Катанда, 41 - Усть-Кокса, 42 - Усть-Иня, 43 - Чибит, 44 - Балыктуюль, 45 - Улаган, 46 - Паспарта, 47 - Чибиля, 48 - Кара-Кудюр, 49 - Чодро, 50 - Тайбылка, 51 - Кату-Ярык, 52 - Кумуртук, 53 - Благовещенский монастырь, 54 - Балыкча, 55 - Кош-Агач, 56 - Курай, 57 - Бельтир

Геодезическое обеспечение полевых исследований Усть-Канской пещеры (Горный Алтай 1999-2003 гг.)

Современная археологическая технология исследования памятников включает различные методы, приемы и способы работ, направленные на изучение культурного слоя с учетом его стратиграфического положения в разрезе, планиграфии и сохранности. Результаты исследований показали, что основой для расчёта точностных нормативов для археологических геодезических работ являются:

- информация о структурных единицах раскопа;
- размеры памятника и потребности в согласованной ориентации совокупностей структурных единиц внутри него самого;

- необходимость совместной увязки местоположения изучаемого памятника с другими объектами и их удалённости от памятника.

В зависимости от задач исследования и от характера залегания культурного слоя исследователь задаёт структурную единицу раскопа, которая определяется:

- минимальными размерами участков раскопанной площади памятника, на которых после разборки слоя будут документально зафиксированы следы человеческой деятельности и условия их залегания в литологических горизонтах;

- мощностью уровня (горизонта) взятия – глубиной вскрытия площади такого участка раскопа в пределах одного литологического горизонта: уровни нумеруются сверху вниз.

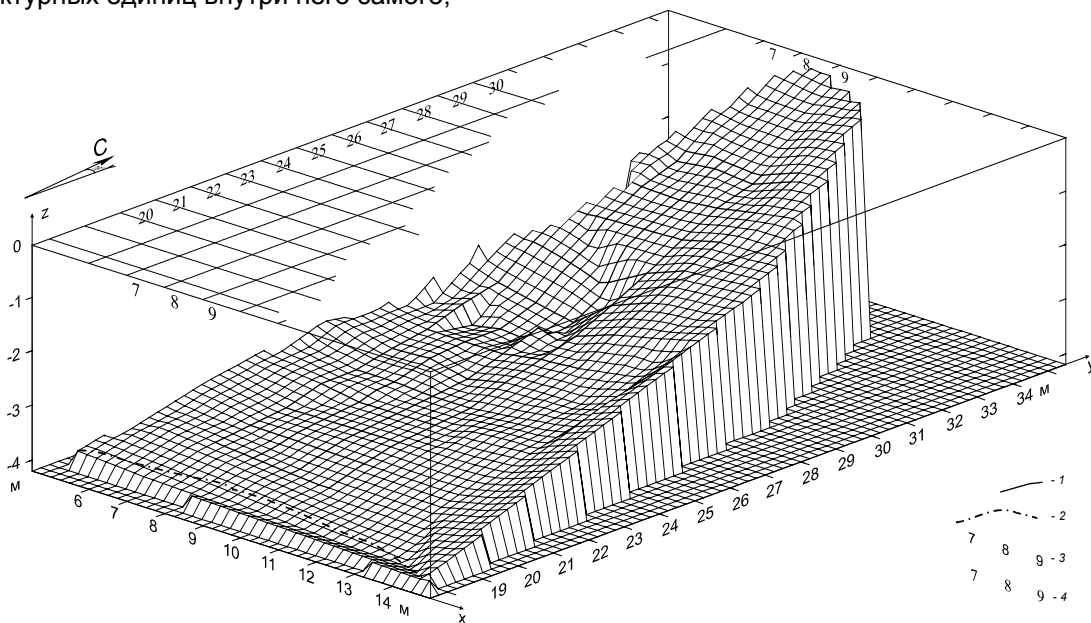


Рис. 2. Модель физической разметки раскопа Усть-Канской пещеры: 1 - границы квадратов раскопа; 2 - капельная линия; 3 - значения в метрах в системе общих декартовых координат; 4 - нумерация квадратов по осям абсцисс и ординат

Выбор структурной единицы для каждого памятника индивидуален, размеры структурной единицы обусловлены насыщенностью культурного слоя и стратиграфическим залеганием литологических горизонтов. При ведении раскопок принимают различные уровни взятия по мощности (от 30 до 2 см).

Для Усть-Канской пещеры в качестве структурной единицы для раскопок памятника был выбран квадрат со стороной один метр и уровнем взятия стандартной мощностью до 5 см. На каждый уровень обязательно заводит-

ся план. При этом число артефактов раскопа в Усть-Канской пещере составляет до сотни экземпляров с одной структурной единицы. Для удобства разбивки пространственной физической сетки координат и исключения погрешности считывания по оси аппликат, связанной с попуском наблюдателем целого числа отсчётных линий сетки координат, высота «ячейки» сетки координат принята за 1м. Пространственная физическая сетка координат ограничена геометрией пещеры и не может быть более 15×4×3 по осям X,Y и Z соот-

ветственно. В начале каждого полевого сезона сетка координат восстанавливается и, при необходимости, дорабатывается. В 2003 году сетка координат имела размеры 13×3×2 (в метрах).

Для геодезических работ на раскопе было принято соотношение между величинами среднеквадратической погрешности (СКП, μ) и предельной абсолютной погрешности (ПАП, m) как $m=1,96 \times \mu \sim 2 \times \mu$ (уровень достоверности 95%). Значение допустимой ПАП будем обозначать как «М». Употребление термина «достоверный» в тексте настоящей работы означает, что авторы подразумевают 95-процентный уровень достоверности. Это говорит о том, что для контроля качества геодезических работ (то есть для проверки их результатов на соответствие выбранному нами уровню достоверности) следует выполнить не менее 20 новых измерений. При этом допустимо получить расхождение d с контролируемыми значениями:

а) не менее чем для 85% контрольных измерений – величины $d < 2 \times \mu$,

б) не более чем для 10% контрольных измерений – величины $d = 2 \times \mu$,

в) не более чем для 5% контрольных измерений – величины $d > 2 \times \mu$.

По метрологическому критерию ничтожных значений, определение нижней границы уровня взятия будет достоверным при определении единичной высотной отметки относительно нуля системы высот раскопа (нулевого репера) с допустимой ПАП не более $M_z = K \times 50 \text{ мм} = 0,3 \times 50 \text{ мм} = 15 \text{ мм}$.

Практика проведения раскопок показывает, что колебания границ уровня взятия в пределах 1 см при его мощности в 5 см – достаточно обычное явление ($m_{\text{уровня}} = 10 \text{ мм}$). Отчёт с помощью пространственной физической сетки координат двумя наблюдателями в ортогональных плоскостях по рейке с миллиметровыми делениями обеспечивает работу с СКП, величина которой не превышает двойного диаметра нити физической координатной сетки. На Усть-Канской пещере для сетки координат применяется капроновая нить диаметром 0,5 мм. Отсюда получаем ПАП определения высоты/глубины относительно верхней плоскости нужного куба сетки координат $m_{\text{отсчёта}} = 2 \times 2 \times 0,5 \text{ мм} = 2 \text{ мм}$.

Разбивка оси аппликат пространственной сетки координат производилась с помощью лазерного нивелира (указателя направления) «Лимка–горизонт» с лучом, развёрнутым в плоскость с помощью цилиндрической

призмы (насадка на объектив «Лимка–Линия»). СКП превышений составило 3 мм на 10 м, а ПАП вертикальной разбивки сетки координат методом «из середины» соответственно не превысит величины $m_{\text{разбивки}} = 2 \times 0,3 \text{ мм} \times (1,5^2 + 7,5^2)^{1/2} \sim 5 \text{ мм}$.

Отсюда оцениваем:

$m_z = (m_{\text{разбивки}}^2 + m_{\text{уровня}}^2 + m_{\text{отсчёта}}^2)^{1/2} = (5^2 + 10^2 + 2^2)^{1/2} \text{ мм} \sim 11 \text{ мм}$, что существенно меньше значения допустимой ПАП: $m_z = 11 \text{ мм} < M_z = 15 \text{ мм}$.

Вопрос точности определения плановых координат артефактов в системе координат раскопа занимает в археологических исследованиях важное место, но он является подчинённым по отношению к вопросу точности определения высотных координат в системе высот раскопа. Поэтому примем, что погрешности определения координат относительно нулевого репера по всем трём осям равнозначны, то есть $M_x = M_y = M_z = 15 \text{ мм}$.

Тогда величина допустимой предельной абсолютной погрешности определения местоположения (допустимую ПАПМ, M_s) артефактов в системе координат раскопа составит $M_s = (M_x^2 + M_y^2)^{1/2} = 1,41 \times 15 \text{ мм} \sim 21 \text{ мм}$. Величина ПАПМ складывается из ПАП линейной разбивки осей абсцисс m_x и ординат m_y , ПАП разбивки прямого угла между осями координат m_β и ПАП отсчётов по обеим осям координат: $m_s = (m_x^2 + m_y^2 + m_\beta^2 + m_{x(\text{отсчёта})}^2 + m_{y(\text{отсчёта})}^2)^{1/2}$.

Погрешность отсчёта уже определена выше при рассмотрении точности разбивки оси аппликат и её полученное значение можно использовать в нашем случае одновременно и для оси абсцисс, и для оси ординат $m_{x(\text{отсчёта})} = m_{y(\text{отсчёта})} = m_{\text{отсчёта}} = 2 \text{ мм}$. Линейная разбивка осей абсцисс и ординат производилась лазерной рулеткой, СКП измерения дистанции в 100 м которой составляет величину $\mu_d = 1,5 \text{ мм}$. Поскольку на коротких расстояниях влияние систематической погрешности (постоянной дальномера) на измерения является более существенным, нежели влияние всех случайных погрешностей, то будем считать предельную линейную погрешность разбивки линий до 50 м постоянной величиной, т.е. $m_x = m_y = 2 \times 1,5 \text{ мм} = 3 \text{ мм}$.

ПАП разбивки прямого угла между осями координат зависит от используемых инструментов. Быстрая разбивка прямого угла из середины длинной стороны была произведена с помощью оптического инклинометра, совмещённого с горным компасом (Suunto Tandem). После этого полученное местоположение точки уточнялось путём измерения диагоналей до концов сторон. Более медленный вариант разбивки основан только на измере-

ниях лазерным дальномером и доступности большого числа квадратов сетки для непосредственных измерений их сторон и диагоналей.

СКП отсчёта оптическим микроскопом по шкале горизонтального круга инклинометра составляет величину $\mu_\beta = 0,1^\circ = 6'$. Следовательно, значение ПАП разбивки прямого угла между осями координат в линейных единицах будет $m_\beta = 4000 \text{ мм} \times 2 \times \mu_\beta \times \pi / 180 = 14 \text{ мм}$.

При разбивке угла только с помощью дальномера можно использовать многократную линейную засечку, при которой измеряются линии от определяемой точки до трёх «пунктов» – начала длинной стороны, конца длинной стороны и её середины. Тогда значение ПАП не превысит величины $m_\beta = 2 \times \mu_\beta \times (3)^{1/2} / (2)^{1/2} / \sin 62^\circ = (1,5)^{1/2} \times 3 \text{ мм} / \sin 62^\circ = 4,2 \text{ мм}$. В нашем случае углы обеих засечек совпали и равны $\gamma \sim 62^\circ$ ($\cos \gamma = (8,5^2 + 4^2 - 7,5^2) / 2 \times 8,5 \times 4$). При разбивке угла из середины короткой стороны углы засечки были бы равны $\gamma = 7,6^\circ$ ($\cos \gamma = (15,1^2 + 15^2 - 2^2) / 2 \times 15,1 \times 15$), а величина m_β составила бы значение $m_\beta = 2 \times \mu_\beta \times (3)^{1/2} / (2)^{1/2} / \sin 7,6^\circ = (1,5)^{1/2} \times 3 \text{ мм} / \sin 7,6^\circ = 27,8 \text{ мм}$. Вполне реально встретить такую геометрию раскопа, при которой для разбивки угла точности оптического инклинометра будет недостаточно (слишком длинные стороны), а линейным измерениям с длинной стороны будут мешать искусственные или естественные препятствия. Тогда необходим теодолит или тахеометр.

Возьмём в качестве значения ПАП разбивки прямого угла величину $m_\beta = 14 \text{ мм}$. Теперь рассчитаем величину ПАПМ и сравним её с допустимым значением $M_s = 21 \text{ мм}$. Получаем $m_s = (2 \times 3^2 + 14^2 + 2 \times 2^2)^{1/2} \text{ мм} = 15 \text{ мм} < 21 \text{ мм}$. Таким образом, в нашем случае для разбивки сетки координат не требуется традиционное оборудование – громоздкий оптический теодолит или достаточно дорогой электронный тахеометр.

Заключение

Данная работа является результатом многолетних исследований в новой области геодезии, которую авторы обоснованно считают имеющей право на существование – археологической геодезии. Настоящее сообщение подробно рассматривает НиГООАЭИ – один из многочисленных видов работ археологической геодезии. Рассмотрены причины формирования точности НиГООАЭИ. Разработанные оригинальные технологические решения внедрены в практику. Основу авторского

решения составляет экономичная методика применения спутникового навигационного позиционирования в сочетании с точными наземными инструментальными измерениями. Новый методологический подход включает в себя подготовку специалистов, проектные работы и техническое оснащение, собственно полевые измерения и камеральную обработку материалов геодезических работ. Вместе с тем, в археологической геодезии остаётся ещё ряд проблем, решение которых открывает перспективу для дальнейших исследований.

Тематика исследований поддержана программой фундаментальных исследований Президиума РАН «Этнокультурное взаимодействие в Евразии» и РГНФ (проекты 04-01-12046в и 04-01-18130е).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Положение о производстве археологических раскопок и разведок и об открытых листах. – Ин-т археологии и этнографии СО РАН, 2001. – 32 с.
2. Помогаев, О.Н. Применение GPS-аппаратуры Trimble для археологических исследований/ О.Н.Помогаев// Геопрофи. – 2003. – №1. – С.31-34.
3. Прихода, А.Г. Геодезическое обеспечение геологоразведочных работ/ А.Г. Прихода// Геопрофи. – 2003. – №2. – С.3-5.
4. Манович, В.Н. Применение навигационных приёмников GPS для построения цифровых карт и планов лесных ресурсов/ В.Н. Манович, В.В. Максимуков// Геопрофи. – 2003. – №5. – С.7-8.
5. Ларичев В.Е. Применение GPS-технологий в астроархеологических исследованиях памятников Сибири/ В.Е.Ларичев, Е.Г.Вергунов// История и культура Востока Азии (Материалы междунар. науч. конф., г. Новосибирск, 9-11 дек. 2002г.)/ Отв. ред. С.В. Алкин. – Новосибирск: Институт археологии и этнографии СО РАН, 2002. – Т. I. – С.217-219.
6. Постнов А.В., Вергунов Е.Г. Основы геодезического обеспечения археологических исследований с применением спутниковых навигационных приёмников/ Отв. ред. д-р ист. наук В.Е. Ларичев. – Новосибирск: Свет, 2003. – 160с., ил.
7. Постнов А.В. Применение спутниковых навигационных приёмников при проведении археологических исследований/ А.В.Постнов, Е.Г.Вергунов// Информационные технологии в гуманитарных исследованиях: Сб. тр. – Новосибирск: Новосиб. госун-т, 2003. – Вып. 5. – С.67-99.
8. Деревянко А.П., Агаджанян А.К., Барышников Г.Ф. и др. Археология, геология и палеогеография плейстоцена и голоцена Горного Алтая/ А.П. Деревянко, А.К. Агаджанян, Г.Ф. Барышников,

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЛЕВЫХ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ И ЭТНОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕТОДАМИ АРХЕОЛОГИЧЕСКОЙ ГЕОДЕЗИИ

М.И. Дергачёва, Т.А. Дупал, Е.М. Малаева, С.В. Маркин, В.И. Молодин, С.В. Николаев, Л.А. Орлова, В.Т. Петрин, А.В. Постнов, В.А. Ульянов, И.К. Феденёва, И.В. Форонова, М.В. Шуньков.— Новосибирск: Изд-во Ин-та археологии и этнографии СО РАН, 1998.— 176с.

9. Дервянко А.П. Результаты комплексных исследований Усть-Канской пещеры в полевом сезоне 2002г/ А.П. Дервянко, А.К. Агаджанян, Е.Г. Вергунов и др// Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий (Материалы годовой сессии Института археологии и этнографии СО РАН 2002г.).— Новосибирск: Изд-во Ин-та археологии и этнографии СО РАН, 2002.— Т. VIII.— С.52-55.

10. Постнов А.В. Создание полигона для обработки методики применения спутниковой навигационной аппаратуры в специальных геодезических работах/ А.В.Постнов, Е.Г.Вергунов// Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий (Материалы годовой сессии Института археологии и этнографии СО РАН 2002г.).— Новосибирск: Изд-во Ин-та археологии и этнографии СО РАН, 2002.— Т. VIII.— С.185-188.

11. Вергунов Е.Г. Разработка методики измерений в специальных геодезических работах с помощью оптического инклинометра и лазерного дальномера на Усть-Канском геодезическом полигоне/ Е.Г. Вергунов, А.В. Постнов// Проблемы археологии, этнографии, антропологии Сибири и сопредельных территорий (Материалы годовой сессии Института археологии и этнографии СО РАН 2003г.).— Новосибирск: Изд-во Ин-та археологии и этнографии СО РАН, 2002.— Т. IX, ч. II.— С.178-182.

12. Гуляев Ю.П. О геодезическом мониторинге природно-технических систем и оптимальном конструировании его топографо-геодезической основы/ Ю.П.Гуляев, Е.А.Васильев// Геодезия и картография.— 2001.— №4.— С.5-9.

13. Гуляев Ю.П. Принципы и точностные аспекты некорректного межмасштабного компьютер-

ного трансформирования и регенерализации инженерно-топографических планов/ Гуляев Ю.П., Синева О.А., Яковлев М.В // ГИС: теория, методология и приложения.— Барнаул, 1998.— С.130-132.

14. ГКИНП (ОНТА)-02-262-02. Инструкция по развитию съёмочного обоснования и съёмке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS/ Под общей редакцией Л.В.Неверова.— ЦНИИГАиК, 2002.— 124с. Введена 01.03.02 (сфера действия общеобязательная).

15. Ларичев В.Е. Современный подход к решению проблемы геодезического обеспечения астроархеологических изысканий в Сибири/ В.Е.Ларичев, Е.Г. Вергунов, В.В. Яхман// Вестник Сибирской государственной геодезической академии/ СГГА.— Вып.8.—Новосибирск, 2003.— С.85-88.

16. Ларичев В.Е. Проблема геодезического обеспечения научных изысканий в Сибири: астроархеологические изыскания/ В.Е.Ларичев, Е.Г.Вергунов, Г.Ф.Серкин, // Вестник Сибирской государственной геодезической академии/ СГГА.— Вып.8.—Новосибирск, 2003.— С.89-91.

17. Вергунов Е.Г. Проблема геодезического обеспечения научных изысканий в Сибири: профессиональная подготовка и обучение кадров для астроархеологических изысканий/ Е.Г. Вергунов// Вестник Сибирской государственной геодезической академии/ СГГА.— Вып.8.—Новосибирск, 2003.— С.92-95.

18. Вергунов Е.Г. Анализ портативных спутниковых GPS-навигаторов фирмы GARMIN: современные возможности и ближайшие перспективы/ Е.Г. Вергунов// Матер. научн.-техн. конф. «Проблемы метролог. обеспечения топографо-геодез. пр-ва и землеустр. работ».— Новосибирск: СГГА, 2001.— С.48.

19. Брынь М.Я. Пути повышения точности координат межевых знаков/ М.Я. Брынь// Геодезия и картография.— 2001.— №4.— С.47-49.