

ПЕРВАЯ РОССИЙСКАЯ ГЕОЭКСПЕДИЦИЯ ПО ИЗМЕРЕНИЮ ВЫСОТ ВЕРШИН ГОРНОГО МАССИВА БЕЛУХА НА АЛТАЕ*

Ю.А. Чермошенцев («ЗапСибГеодезия», Новосибирск)

В 1985 г. окончил геодезический факультет НИИГАиК (в настоящее время — Сибирская государственная геодезическая академия, Новосибирск) по специальности «прикладная геодезия». После окончания института работал в «ЗапСибТИСИЗ». С 2005 г. по настоящее время — директор ООО «ЗапСибГеодезия». Альпинист, активный участник экстремальных экспедиций.



Ю.А. Чермошенцев,
руководитель геодезических
измерений

Для успешного выполнения столь масштабной геоэкспедиции требовалось собрать команду энтузиастов (альпинистов, туристов, геодезистов), подготовить геодезическое оборудование и средства связи дальностью не менее 15 км (мощные радиостанции, спутниковые телефоны), а главное — обеспечить финансирование проекта.

Найти энтузиастов и подготовить на должном уровне средства измерений и связи удалось достаточно быстро, а вопрос с финансированием решался вплоть до самого старта экспедиции.

Чтобы полноценно обеспечить проект всем необходимым, была сформирована смета, подана заявка на получение гран-

та в Русское географическое общество (РГО), оформлены и направлены обращение к губернатору Новосибирской области и письма о спонсорской поддержке ряду общественных фондов. Администрация РГО не проявила интереса к планируемой экспедиции и затянула рассмотрение документов, что не позволило нам принять участие в конкурсе на соискание грантов. Огромное спасибо губернатору Новосибирской области и руководителям «Благотворительного фонда памяти имени Володи Женова» (www.bfvz.ru) за финансовую поддержку проекта.

Фактический бюджет экспедиции (около 500 тыс. рублей), сформированный из средств спонсоров и финансовых вложений организаторов экспедиции, оказался в три раза меньше планируемого. Собранных средств хватило на закупку необходимого альпинистского снаряжения (веревки, буры, скальные крючья), продуктов на всех участников экспедиции, оплату перевозки груза вертолетом и оформление необходимой медицинской страховки на случай эвакуации пострадавших вертолетом МЧС.

Исходя из сложившихся обстоятельств, чтобы не сорвать экспедицию, объем всех работ был пересмотрен и оптимизирован.

Во-первых, отказались от геофизических исследований.

Во-вторых, решили измерять высоты фирнового гребня, а на скальных выходах заложить геодезические марки и передать на них отметки для возможных дальнейших исследований.

В-третьих, решили ограничиться станциями ГНСС на двух основных вершинах горного массива Белухи и провести измерения вертикальных углов на вежи, установленные на остальных вершинах, а также выполнить измерения с помощью навигаторов Garmin.

В-четвертых, разработали альпинистские маршруты по безопасным, но технически более сложным вариантам:

— «скально-ледовый» (категория сложности 4А) на пик 20 лет Октября;

— «скально-ледовый» (категория сложности 3Б) на вершины Восточная Белуха и Западная Белуха;

— «ледовый» (категория сложности 4А) на пик Делоне,

* Окончание. Начало в № 6-2012.



Рис. 8

Установка вехи на пике 20 лет Октября при измерении вертикальных углов с пунктов В.Б. и Т.1

по которому планировалось совершать восхождения только при благоприятных погодных условиях.

В-пятых, высотную привязку нижних базовых станций ГНСС методом геометрического нивелирования к реперам, имеющим высоту в государственной Балтийской системе высот 1977 г. (БСВ-77) отложили на сентябрь-октябрь 2012 г., из-за нехватки специалистов и времени.

К сожалению, недостаток финансовых ресурсов не позволил закупить средства спутниковой связи в нужном количестве. На-

дежда, что удастся наладить связь между лагерями и группами с помощью радиостанций, в результате обернулась дополнительными трудностями при проведении одновременных измерений. Длительное отсутствие приемлемой для восхождения погоды и отсутствие связи между группами, выполнявшими восхождение и находящимися в нижних лагерях, привело к тому, что по истечению пяти суток спутниковые наблюдения на временных базовых станциях были прерваны, а лагеря свернуты и переведены на основную базу в Усть-Коксу (базовая станция «Ковчег»). Когда, установив оборудование ГНСС, геодезисты начали измерения на главных вершинах, им удалось по спутниковому телефону связаться с основной базой в Усть-Коксе, и двум другим группам пришлось в экстренном режиме, преодолев десятки километров, вновь устанавливать оборудование на временных базовых станциях «Аккем» и «Ак-Коба» и организовывать сеансы наблюдений. В результате существенно сократилось время одновременных спутниковых измерений на всех запланированных точках.

Измерение зенитных расстояний

Прекрасная видимость 20 августа 2012 г. позволила выполнить с пункта В.Б., закрепленного на вершине Восточная Белуха, измерение зенитных расстояний (вертикальных углов) на вершины: Западная Белуха, Северный пик (Северо-Западная Белуха), пик 20 лет Октября (рис. 8) и пик Делоне с помощью оптического теодолита ТНЕО 010 В (два полных приема с интервалом в 6 часов). Для контроля были проведены дополнительные угловые измерения тем же прибором с пункта Т.1 (рис. 9). Результаты измерений и значения вычисленных превышений между вершинами и пунктами приведены в табл. 1 и 2 (расстояния вычислены по спутниковым наблюдениям и измерены навигатором Garmin).

Превышения между вершинами Западная Белуха и Северный пик составили:

$$— \Delta h \text{ (для пункта В.Б.)} = -73,12 + 71,80 = -1,31 \text{ м;}$$

$$— \Delta h \text{ (для пункта Т.1)} = -51,35 + 50,11 = -1,24 \text{ м.}$$

Аналогично были вычислены превышения между вершинами Западная Белуха и пик 20 лет Октября:

Превышение между вершинами и пунктом В.Б.

Таблица 1

Наименование параметров	Западная Белуха	Северный пик	Пик 20 лет Октября
Зенитное расстояние, рад	1,607070086	1,618594108	1,643838356
Вертикальный угол, рад	-0,03627376	-0,047797781	-0,073042029
Расстояние, м	2022,2	1504,2	4796,4
Поправка за кривизну и рефракцию, м	0,270	0,149	1,518
Превышение, м	-73,12	-71,80	-349,44

Превышение между вершинами и пунктом Т.1

Таблица 2

Наименование параметров	Западная Белуха	Северный пик	Пик 20 лет Октября
Зенитное расстояние, рад	1,596224804	1,604515118	1,640342849
Вертикальный угол, рад	-0,025428478	-0,033718792	-0,069546523
Расстояние, м	2029,6	1489,8	4725,3
Поправка за кривизну и рефракцию, м	0,272	0,146	1,474
Превышение, м	-51,35	-50,11	-327,69

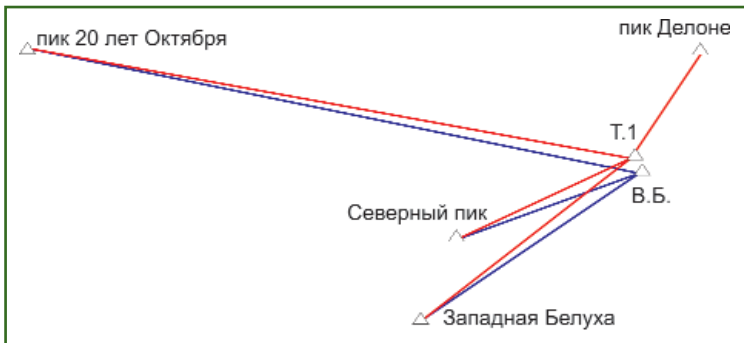


Рис. 9

Схема измерения зенитных расстояний с пунктов В.Б. и Т.1

— Δh (для пункта В.Б.) = $-73,12 + 349,44 = 277,64$ м;
 — Δh (для пункта Т.1) = $-51,35 + 327,68 = 277,58$ м.

Таким образом, можно считать, что измерения, выполненные с пунктов Т.1 и В.Б., не содержат грубых ошибок и превышения вычислены корректно.

Это подтверждают и превышения между пунктами Т.1 и В.Б., полученные по результатам измерений на разные вершины:

— Δh (Западная Белуха) = $-73,12 + 51,35 = 21,76$ м;
 — Δh (Северный пик) = $-71,80 + 50,11 = 21,70$ м;
 — Δh (пик 20 лет Октября) = $-349,44 + 327,68 = 21,76$ м.

Кроме того, с помощью оптического теодолита был проложен тригонометрический ход между пунктами Т.1 и В.Б., и вычисленное превышение оказалось равным 21,8 м (рис. 10).

▼ **Спутниковые измерения и обработка полученных данных**

Спутниковые измерения приемниками ГНСС выполнялись

одновременно на 6 точках: вершинах Восточная Белуха и Западная Белуха, перевале Кара-Тюрек и трех базовых станциях («Аккем», «Ак-Коба» и «Ковчег»).

На точках использовались спутниковые приемники компании JAVAD GNSS: два TRIUMPH-1 (Западная Белуха и Кара-Тюрек, рис. 11), один TRIUMPH-VS (Восточная Белуха), а также два приемника Prego Lite («Аккем» и «Ак-Коба») и один Махор («Ковчег»). Все оборудование ГНСС во время измерений работало надежно, без сбоев и отлично себя зарекомендовало. Спутниковые и угловые измерения на вершине Восточная Белуха выполнялись над пунктом В.Б. следующим образом: в трегер, закрепленный на штативе, попеременно устанавливались приемник TRIUMPH-VS и оптический теодолит.

Высоты пунктов временных базовых станций ГНСС «Ак-Коба», «Аккем» и «Ковчег» были получены в сентябре 2012 г. по результатам геометрического



Рис. 10

Проложение тригонометрического хода между пунктами Т.1 и В.Б.



Рис. 11

Спутниковые измерения приемником TRIUMPH-1 на вершине Западная Белуха

нивелирования IV класса от ближайших грунтовых реперов, имевших отметки в БСВ–77.

Обработку полученных спутниковых измерений проводили специалисты из разных организаций в следующих программах:

- GIODIS — В.Я. Иодис (JAVAD GNSS);
- Topcon Tools — Е.В. Ажинов («ЗапСибГеодезия»);

Высоты точек на вершинах, полученные по спутниковым измерениям в системе WGS–84 и в государственной Балтийской системе высот 1977 г.

Таблица 3

Наименование программы	Высоты точек на вершинах, м					
	Восточная Белуха		Западная Белуха		Кара-Тюрек	
	WGS–84	БСВ–77	WGS–84	БСВ–77	WGS–84	БСВ–77
GIODIS	4469,0	4507,3	4396,2	4434,5	3081,7	3119,7
Trimble Business Center	4469,1	4508,1	4396,2	4435,2	3081,7	3120,8
Topcon Tools	4469,0	4508,8	4396,2	4435,9	3081,7	3121,2
Среднее	4469,0	4508,1	4396,2	4435,2	3081,7	3120,6

Итоговое значение высот вершин

Таблица 4

Название вершин	Абсолютные высоты в БСВ–77, м	
	На карте	Измеренные ООО «ЗапСибГеодезия»
Пик 20 лет Октября	4172,3	4158,6
Восточная Белуха (скала)*	4499,6	4502,2
Восточная Белуха (фирновый гребень)	~ 4506	4509,4
Западная Белуха (фирновый гребень)	4435,6	4435,1
Северо-Западная Белуха (фирновый гребень)	Отсутствует	4437,6
Пик Делоне (фирновый гребень)	4280	4380,2
«Кара-Тюрек» (марка на перевале)		3120,6

* Для дальнейших исследований наиболее высокая точка скального гребня на вершине Восточная Белуха была закреплена маркой (рис. 13). Точная абсолютная отметка марки в БСВ–77 составляет 4502,21 м.

— Trimble Business Center — Н.К. Шендрик (СГГА, кафедра астрономии).

Следует отметить, что вычисления выполнялись независимо, но с использованием пространственных координат одних и тех же постоянно действующих пунктов Международной ГНСС службы (IGS — International GNSS Service): NOVМ (Новосибирск), SELE (Алматы), IRKT (Иркутск) и GUAO (Китай) в системе WGS–84 (рис. 12). Вычисленные значения высот измеренных точек приведены в табл. 3. Возможной причиной расхождений в значениях высот точек в БСВ–77 может быть использование в программах обработки спутниковых измерений разных моделей геоида.

Полученные в табл. 3 значения не являются высотами вер-

шин, так как спутниковые приемники устанавливались в оптимальном и безопасном для измерений месте. Высоты вершин до фирнового или скального гребня определялись от этих точек по результатам тригонометрического нивелирования с помощью оптического теодолита (табл. 4).

Данные, полученные в результате вычислений, показывают следующее:

— геодезические высоты в системе WGS–84 отличаются в пределах 1–2 см;

— нормальные высоты в государственной Балтийской системе высот 1977 г. отличаются в пределах 0,8 м;

— максимальная разность между нормальными высотами базовых станций, полученными из спутниковых наблюдений и

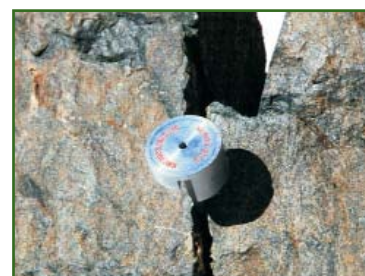


Рис. 13

Марка на скальном гребне вершины Восточная Белуха

геометрического нивелирования, составляет 0,7 м.

Таким образом, можно утверждать, что значения высот вершин в БСВ–77 получены с предельной погрешностью, не превышающей 1 м.

При более тщательном научном анализе результатов измерений или, разработав специальную утилиту для программ обработки этих данных, значения высот вершин в БСВ–77 можно будет уточнить до нескольких дециметров.

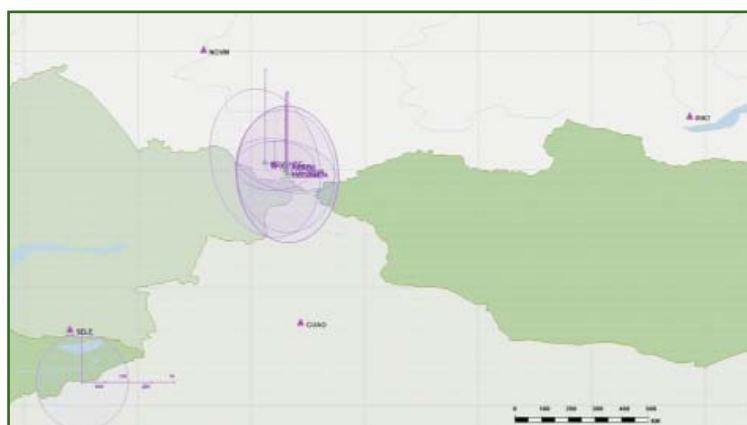


Рис. 12

Схема расположения опорных пунктов

RESUME

Organizational and financial problems that occurred during the expedition are marked. There are given the measured data description as well as the heights of the peaks at the Belukha Mountain resulting from the calculations. Ellipsoidal height differences (WGS–84) were one to two centimeters and the heights in the State system (the Baltic height system 77) were 0,8 m.