

# РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ОДНОЧАСТОТНОЙ ДВУХСИСТЕМНОЙ СПУТНИКОВОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ «ГЕОДЕЗИЯ»

**А.П. Прихода** (ФГУП «СНИИГГиМС», Новосибирск)

В 1954 г. окончил Новосибирский институт геодезии, аэрофотосъемки и картографии (в настоящее время — Сибирская государственная геодезическая академия (СГГА)) по специальности «аэрофотосъемка». С 1957 г. работает в ФГУП «Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья» (СНИИГГиМС), в настоящее время — руководитель отдела геодезического обеспечения геолого-геофизических работ.

**Г.И. Мальцев** (ФГУП «СНИИГГиМС», Новосибирск)

В 1984 г. окончил аэрофотогеодезический факультет Новосибирского института инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии (в настоящее время — СГГА) по специальности «астрономогеодезия». С 1984 г. работает в ФГУП «СНИИГГиМС», в настоящее время — ведущий инженер.

**А.П. Лапко** (ФГУП «СНИИГГиМС», Новосибирск)

В 1965 г. окончил радиотехнический факультет Новосибирского электротехнического института (в настоящее время — Новосибирский государственный технический университет) по специальности «радиотехника». С 1958 г. работает в ФГУП «СНИИГГиМС», в настоящее время — ведущий научный сотрудник.

**С.О. Шевчук** (ФГУП «СНИИГГиМС», Новосибирск)

В 2010 г. окончил институт дистанционного зондирования и природопользования Сибирской государственной геодезической академии по специальности «аэрофотогеодезия». С 2009 г. работает в ФГУП «СНИИГГиМС», в настоящее время — инженер.

В соответствии с Федеральным законом «О навигационной деятельности» от 14.02.2009 г. № 22-ФЗ с января 2011 г. все спутниковые геодезические и навигационные работы должны выполняться с использованием глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) ГЛОНАСС или совместно ГЛОНАСС и GPS.

Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (ФГУП «СНИИГГиМС»), согласно техническому заданию к государственному контракту с Федеральным агентством по недропользованию, должен осуществить адаптацию

(приспособление к внешним условиям) спутниковой аппаратуры пользователя (ГЛОНАСС или ГЛОНАСС/GPS), произведенной в России, и разработать технологию навигационно-геодезического обеспечения в сложных физико-географических условиях проведения наземных и аэро- геофизических исследований с учетом использования системы ГЛОНАСС или ГЛОНАСС/GPS.

С этой целью на основании договора с ОАО «Российский институт радионавигации и времени» (Санкт-Петербург) было приобретено два одночастотных приемника ГЛО-

НАСС/GPS марки «Геодезия». В предлагаемой статье рассмотрены результаты испытаний спутниковой геодезической аппаратуры (СГА) «Геодезия».

Как следует из руководства по эксплуатации, аппаратура



**Рис. 1**  
Внешний вид СГА «Геодезия»

«Геодезия» (рис. 1) предназначена для определения расстояний, относительных координат и азимутов в режиме постобработки и применяется «... для определения относительного местоположения объектов, при этом обеспечивает проведение высокоточных геодезических измерений в опорных и съемочных сетях на объектах промышленности и сферы обороны и безопасности». Измерения возможны в статическом и динамическом режимах.

Основными задачами испытаний являлись следующие:

— проведение анализа результатов статических измерений с оценкой точности определения местоположения;

— исследование зависимости точности определения местоположения от продолжительности времени измерений в режиме «Быстрая статика»;

— исследование работы в динамическом режиме «Псевдокинематика» (Stop-and-Go);

— проведение анализа точности определения координат и высот для различных внешних условий, включая местность, покрытую лесом.

Параллельно с измерениями с помощью СГА «Геодезия» проводились определения пространственных координат одночастотным геодезическим приемником ГЛОНАСС/GPS компании Sokkia — GSR1700 CSX (рис. 2), что позволило провести сравнительный анализ возможностей приборов одного класса точности при одинаковых внешних условиях. Паспортные характеристики этих моделей аппаратуры представлены в табл. 1.

Исследования проводились в Новосибирске и Новосибирском сельском районе на отрас-



**Рис. 2**  
Внешний вид приемника Sokkia GSR1700 CSX

левом эталонном геодезическом полигоне СНИИГГиМС в период с марта по апрель 2010 г., при температуре окружающего воздуха от +5°C до -5°C, а также в ноябре при температуре до -15°C.

Предварительные испытания аппаратуры были выполнены в стационарных условиях на эталонном пункте, расположенном на крыше лабораторного корпуса СНИИГГиМС, в режиме «Статика» (табл. 2).

**Паспортные характеристики СГА «Геодезия» и GSR1700 CSX**

**Таблица 1**

Наименования характеристики	СГА «Геодезия»	GSR1700 CSX	
<i>Точность</i>			
«Статика»	В плане	5,0 мм + 1 мм/км	5,0 мм + 1 мм/км
	По высоте	10 мм + 2 мм/км	8,0 мм + 2 мм/км
«Быстрая статика»	В плане	5,0 мм + 1,5 мм/км	5,0 мм + 1 мм/км
	По высоте	10 мм + 2 мм/км	10 мм + 2 мм/км
«Псевдокинематика»	В плане	20 мм + 2 мм/км	10 мм + 1 мм/км
	По высоте	20 мм + 2 мм/км	12 мм + 2 мм/км
«Непрерывная кинематика»	В плане	20 мм + 2 мм/км	Отсутствует возможность
	По высоте	20 мм + 2 мм/км	Отсутствует возможность
<i>Количество отслеживаемых спутников</i>			
Каналы	Всего	16	28
	L1, GPS	Произвольно	14
	L1, ГЛОНАСС	Произвольно	12
	SBAS	Нет данных	2
<i>Условия эксплуатации и хранения</i>			
Рабочая температура	От -30°C до +50°C	От -40°C до +65°C	
Температура хранения	От -40°C до +55°C	От -40°C до +85°C	
Влажность	До 93% при температуре +25°C	100% с конденсатом	
Пыле- и влаго- защита	Нет данных	Влагонепроницаемый, возможность погружения в воду на глубину до 1 м	
<i>Прочие характеристики</i>			
Масса устройства (с батареей), кг	2,0	0,672	
Встроенная память, Мбайт	3,5 (без возможности расширения)	64 (с возможностью расширения до 2 Гбайт)	
Энергопотребление, Вт	Не более 5	Не более 5	

Результаты стационарных испытаний на эталонном пункте в режиме «Статика»

Таблица 2

Наименование параметра	СГА «Геодезия»	GSR1700 CSX
Время измерений на пункте (среднее), мин	179	195
Общее число спутников (ГЛОНАСС и GPS), шт	15	19
Величина контрольного базиса, мм	1440*	1440*
Стандартные погрешности определения пространственных координат: X/Y/H, мм	3,5/3,5/10	3,5/3,5/8
Предрасчетная средняя квадратическая погрешность (СКП) дальности, мм	11,2	9,4
Истинная СКП дальности, вычисленная по результатам измерений, мм	5,8	5,6

\* **Примечание.** Величина базиса выбрана исходя из технических возможностей эталонного пункта.

Полевые испытания аппаратуры были проведены на эталонных пунктах, расположенных на участках местности с различной плотностью и высотой лесного покрова.

На первом этапе измерения выполнялись на открытой местности при расстоянии от

базовой станции до определяемого (эталонного) пункта 12,7 км в режиме «Быстрая статика». Продолжительность наблюдений составляла от 20 до 60 мин.

Оценка точности осуществлялась по отклонениям измеренных значений простран-

ственных координат от их истинных значений по следующим формулам:

$$M_{пл} = [(X_{изм} - X_{ист})^2 + (Y_{изм} - Y_{ист})^2]^{1/2};$$

$$\Delta H = H_{изм} - H_{ист},$$

где  $X_{изм}$ ,  $Y_{изм}$ ,  $H_{изм}$  — измеренные значения пространственных координат;

$X_{ист}$ ,  $Y_{ист}$ ,  $H_{ист}$  — истинные (эталонные) значения пространственных координат;

$M_{пл}$  — погрешность в плане;

$\Delta H$  — погрешность по высоте.

Результаты оценки точности измерений, приведенные в табл. 3., показывают, что оба приемника в заданном режиме наблюдений дают примерно одинаковую точность, которая практически не зависит от времени наблюдения.

Известно, что на открытой местности, где отсутствуют препятствия для приема сигналов, широко применяется режим «Псевдокинематика». Исследования в этом режиме включали два этапа: инициализацию, необходимую для разрешения неоднозначности фазовых отсчетов при постобработке, и динамическую часть, т. е. измерения непосредственно в точках наблюдения.

Измерения, аналогичные режиму «Быстрая статика», проводились на эталонном пункте приемником, который являлся базовой станцией. Второй при-

Сравнительная оценка точности измерений на открытой местности в режиме «Быстрая статика» с разрешением многозначности

Таблица 3

№ сеанса	Продолжительность наблюдений, мин	СГА «Геодезия»		GSR1700 CSX	
		$M_{пл}$ , м	$\Delta H$ , м	$M_{пл}$ , м	$\Delta H$ , м
1	20	0,022	0,043	0,015	0,043
2	30	0,021	0,050	0,013	0,033
3	40	0,015	0,040	0,013	0,034
4	50	0,012	0,039	0,010	0,030
5	60	0,018	0,043	0,012	0,029

Сравнительная оценка точности измерений на открытой местности в режиме «Псевдокинематика»

Таблица 4

№ сеанса	СГА «Геодезия»		GSR1700 CSX	
	$m_l$ , м	$m_h$ , м	$m_l$ , м	$m_h$ , м
1	0,004	0,009	0,041	0,072
2	0,024	0,017	0,065	0,095
3	0,018	0,028	0,040	0,041
4	0,110	0,240	0,050	0,184
5	0,120	0,160	0,007	0,260
6	0,012	0,043	0,042	0,082
<b>Средняя СКП</b>	<b>0,068</b>	<b>0,100</b>	<b>0,035</b>	<b>0,144</b>

**Примечание.**  $m_l$  — СКП измерения расстояний между эталонным пунктом и контрольными точками;  $m_h$  — СКП измерения превышений между эталонным пунктом и контрольными точками.

емник располагался неподвижно в течение всего периода инициализации, а затем перемещался между определяемыми точками в прямом и обратном направлениях вдоль выбранного маршрута. Остановка в каждой определяемой (контрольной) точке составляла 2 мин. Результаты сравнительных контрольных измерений, приведенные в табл. 4, свидетельствуют о вполне удовлетворительном качестве (точности) работы аппаратуры на открытой местности в режиме «Псевдокинематика».

Геолого-геофизические исследования, как известно, в большинстве случаев, особенно в Сибири и на Дальнем Востоке, проводятся на пересеченной лесной или в таежной местности.

Согласно руководству по спутниковой съемке СГА «Геодезия», на территориях с большим количеством препятствий для прохождения сигналов от космических аппаратов, вызывающих срывы слежения и потери фазовых циклов из-за помех, обусловленных многопутностью сигнала, нельзя применять режим измерений «Псевдокинематика». Для проверки этих рекомендаций, в качестве эксперимента, нами были проведены измерения в полузакрытой и закрытой («залесенной») местности.

Измерения выполнялись в режимах «Псевдокинематика» и «Быстрая статика» по методике, аналогичной измерениям на открытой местности — в прямом и обратном направлениях вдоль заданной трассы, проходившей через березовый колос с удалением 17,5 км от базовой станции. Контрольные точки располагались вдоль дорожного полотна на границе колка и внутри него. Такое перемещение антенны подвижного приемника позволило максимально разнообразить

**Сравнительная оценка точности измерений в полузакрытой местности (березовый колос) в режиме «Псевдокинематика»**

Таблица 5

№ групп	Число сеансов	Продолжительность сеанса, мин	СГА «Геодезия»		GSR1700 CSX	
			мл, м	mh, м	мл, м	mh, м
1	6	2	7,43	7,31	4,501	4,61
2	6	5	6,50	4,90	0,094	0,13
3	6	10	4,32	3,96	0,089	0,16

**Сравнительная оценка точности измерений в полузакрытой местности (хвойный лес) в режиме «Псевдокинематика»**

Таблица 6

№ групп	Число сеансов	Продолжительность сеанса, мин	СГА «Геодезия»		GSR1700 CSX	
			мл, м	mh, м	мл, м	mh, м
1	7	2	8,93	7,50	2,14	2,16
2	7	5	6,78	9,43	1,18	1,90
3	7	10	3,53	4,53	0,89	0,50

условия приема сигнала, увеличить количество спутников, участвующих в измерениях, и добиться ослабления влияния эффекта многопутности. Инициализация в течение 25 мин выполнялась на пункте с известными координатами. Продолжительность сеанса на контрольных точках составляла 2, 5 и 10 мин.

Результаты измерений в режиме «Псевдокинематика» в полузакрытой местности представлены в табл. 5.

С помощью СГА «Геодезия» в полузакрытой местности были получены только кодовые решения, в то время как с помощью аппаратуры GPR1700 CSX при увеличении продолжительности измерений до 5 и более минут были получены фиксированные фазовые решения (выделены в табл. 5 красным цветом).

Результаты измерений по той же методике в более сложных условиях (в полузакрытой местности с преобладанием деревьев хвойных пород, при удалении от базовой станции на 24,5 км) приведены в табл. 6.

Из табл. 6 видно, что для обоих приборов получены не фиксированные, а плавающие фазовые решения или решения по коду. При этом спутниковый геодезический приемник GPR1700 CSX позволил получить более высокую точность.

На заключительном этапе исследований были проведены измерения при неблагоприятных условиях приема спутникового сигнала на эталонном пункте полигонометрии, расположенных в густом хвойном лесу. Длина базовой линии составляла 24,6 км. Продолжительность сеанса наблюдений — 60 мин. При этом имело место сочетание нескольких неблагоприятных факторов: плохая геометрия рабочего созвездия, плохое отношение сигнал/шум, частая потеря фазовых циклов, наличие сильного влияния эффекта многопутности, большая длина базовой линии для одностотных приемников. Однако следует отметить, что такие условия испытаний максимально приближены к реальным условиям геодезического обеспе-

**Сравнительная оценка точности измерений в закрытой местности (густой хвойный лес) при неблагоприятных условиях приема спутникового сигнала**

Таблица 7

№ сеанса	СГА «Геодезия»		GSR1700 CSX	
	Мпл, м	Мн, м	Мпл, м	Мн, м
1	8,711	6,156	0,761	4,125
2	6,741	0,734	2,833	3,416
3	6,291	5,520	2,396	1,025
4	10,733	9,752	1,363	1,913
5	6,851	6,372	0,708	2,183
6	4,576	1,584	1,332	2,612
<b>СКП отклонений</b>	<b>7,570</b>	<b>5,860</b>	<b>1,760</b>	<b>2,738</b>

чения геолого-геофизических работ.

В результате измерений в таких условиях были получены только кодовые решения (табл. 7). В то же время приемник СГА «Геодезия» в 3–4 раза уступает приемнику ГНСС GSR1700 CSX по точности определения местоположения.

Таким образом, в результате проведенных испытаний был сделан следующий основной вывод. Точность определения пространственных координат спутниковой геодезической аппаратурой «Геодезия» на открытой местности в основных режимах спутниковой съемки «Статика», «Быстрая статика» и «Псевдокинематика» соответствует точности, заявленной разработчиком.

Однако следует обратить внимание на следующие недостатки, выявленные в процессе испытаний.

СГА «Геодезия» имеет малый объем встроенной памяти — 3,5 Мбайт. При регистрации измерений с интервалом в 1 с, этого объема хватает только на 6 часов непрерывной работы, что явно недостаточно для экспедиционных условий.

Минимальное время работы при потребляемой мощности в среднем 2,3 Вт составляет около 12 часов. При этом оно существенно зависит от температуры окружающей среды и чис-

ла отслеживаемых спутников. При работе в зимних условиях требуется замена аккумулятора даже в течение рабочего дня. Причем, при замене аккумулятора регистрация данных прекращается. Для сравнения, приемник GSR1700 CSX при смене аккумуляторной батареи продолжает регистрировать данные в течение 30 с.

Наличие четырнадцати режимов звуковых сигналов в СГА «Геодезия» разной продолжительности и в различных комбинациях (от 0,1 до 0,3 с) отвлекают и усложняют работу оператора особенно при длительных статических наблюдениях. Световые индикаторы не позволяют получить информацию о количестве наблюдаемых спутников, геометрическом факторе, накопленных данных, достаточных для получения оптимального решения. В аппаратуре GSR1700 CSX реализована речевая сигнализация на русском языке, а удобные световые индикаторы позволяют контролировать количество наблюдаемых спутников и соответствие объема накопленных данных, необходимых для заданной длины базовой линии.

Программное обеспечение, поставляемое с СГА «Геодезия», требует доработки. Так, связь с компьютером осуществляется через COM-порт, который в

современных ноутбуках, используемых в полевых условиях, отсутствует. Программа обработки спутниковых измерений BL-GEO для ввода геодезических координат требует их пересчета в плоские прямоугольные координаты через «геодезический калькулятор», масштаб «окна» карты нельзя настроить вручную, при этом по осям X и Y он различен. Кроме того, отсутствует программный инструмент «линейка» для оценки расстояний, обработка базовых линий происходит в несколько этапов с длительной настройкой параметров обработки, а параметры перехода к СК–42 и СК–95 не соответствуют ГОСТ Р51794-2008 «Глобальные навигационные спутниковые системы. Системы координат. Методы преобразования координат определяемых точек».

Таким образом, на данном этапе результаты выполненных исследований не позволяют рекомендовать СГА «Геодезия» для определения пространственных координат в сложных физико-географических условиях, в частности, в геологической отрасли.

В то же время есть все основания надеяться, что, опираясь на первый опыт, российским разработчикам удастся создать конкурентоспособную полевую геодезическую спутниковую аппаратуру ГНСС, достойную глобальной навигационной спутниковой системы ГЛОНАСС.

#### RESUME

There are given the results of the tests of the single-frequency satellite geodetic equipment GLONASS / GPS «Geodesy» made in the «Static», «Fast Static» and «Pseudokinematics» modes. The accuracy evaluation results are presented together with the recommendations on improving the design of this type of the GNSS receivers.