



Дата: 15.08.2022

ПРОТОКОЛ № 12/2022
испытаний с использованием
мобильной измерительно-диагностической лаборатории
по определению локальных потребительских характеристик ГНСС

1	Цели испытаний	3
2	Объект испытаний.....	3
3	Средства проведения испытаний	3
4	Время и место проведения испытаний.....	3
5	Условия проведения испытаний.....	4
6	Результаты испытаний	7
6.1	Условия навигации по сигналам ГНСС	7
6.2	Погрешности позиционирования по сигналам ГНСС.....	15
6.3	Работоспособность и эффективность СДКМ	17
7	Выводы	21

1 ЦЕЛИ ИСПЫТАНИЙ

1.1 Целями испытаний являлись:

- оценка локальных потребительских характеристик глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС, GPS, Beidou, Galileo (далее – ГНСС) в условиях загородной трассы
- проверка работоспособности и эффективности российской широкозонной системы дифференциальной коррекции и мониторинга (СДКМ, функциональное дополнение ГНСС).

2 ОБЪЕКТ ИСПЫТАНИЙ

2.1 Локальные потребительские характеристики ГНСС:

- количество видимых навигационных космических аппаратов (НКА) каждой ГНСС;
- геометрический фактор точности определения местоположения потребителя ГНСС в пространстве (PDOP) для каждой ГНСС;
- доступность навигации по сигналам ГНСС;
- доступность навигации по сигналам ГНСС;
- расчетные погрешности местоопределений по сигналам ГНСС.

2.2 Характеристики определялись для маски угла места 5°.

3 СРЕДСТВА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

3.1 Мобильная измерительно-диагностическая лаборатория (МИДЛ) ГЮИД.464979.001, заводской номер 073-2003004-01, свидетельство о поверке № С-Т/11-08-2021/95826327 действительно до 10.08.2022.

3.2 Испытания проводились лабораторией 030042 Информационно-аналитического центра координатно-временного обеспечения (ИАЦ КВНО) АО «ЦНИИмаш».

Контактная информация:

ИАЦ КВНО АО «ЦНИИмаш»:

Адрес: Московская область, г. Королев, ул. Пионерская, д. 4

Телефон: (495) 513-58-33

E-mail: midl@glonass-iac.ru

4 ВРЕМЯ И МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

4.1 Испытания проводились с 18.07.2022 по 24.07.2022.

4.2 Место проведения испытаний: автомобильный маршрут г. Москва – г. Вологда – г. Петрозаводск – г. Санкт-Петербург – г. Москва.

5 УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

5.1 Маршрут проведения испытаний показан на рисунке 1.

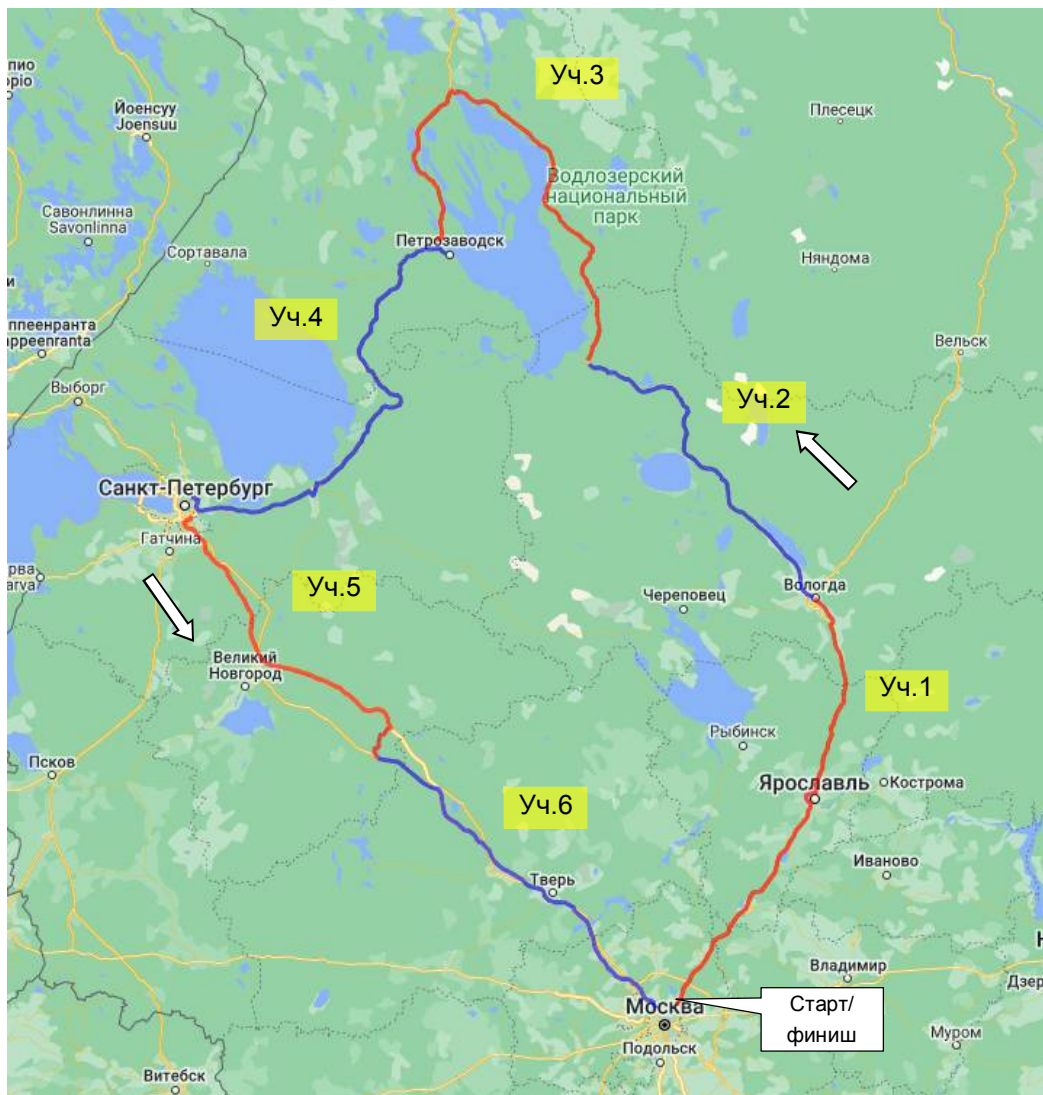


Рисунок 1 Маршрут испытаний

5.2 Маршрут обеспечивает характерные для трассы траектории движения, условия затенения и переотражения спутниковых сигналов. Общая протяженность маршрута - 2500 км.

5.3 Фотографии отдельных участков маршрута представлены на рисунках 2÷6.



Рисунок 2 Маршрут испытаний, Ярославское шоссе



Рисунок 3 Маршрут испытаний, автодорога А-119 выезд из г. Вологда

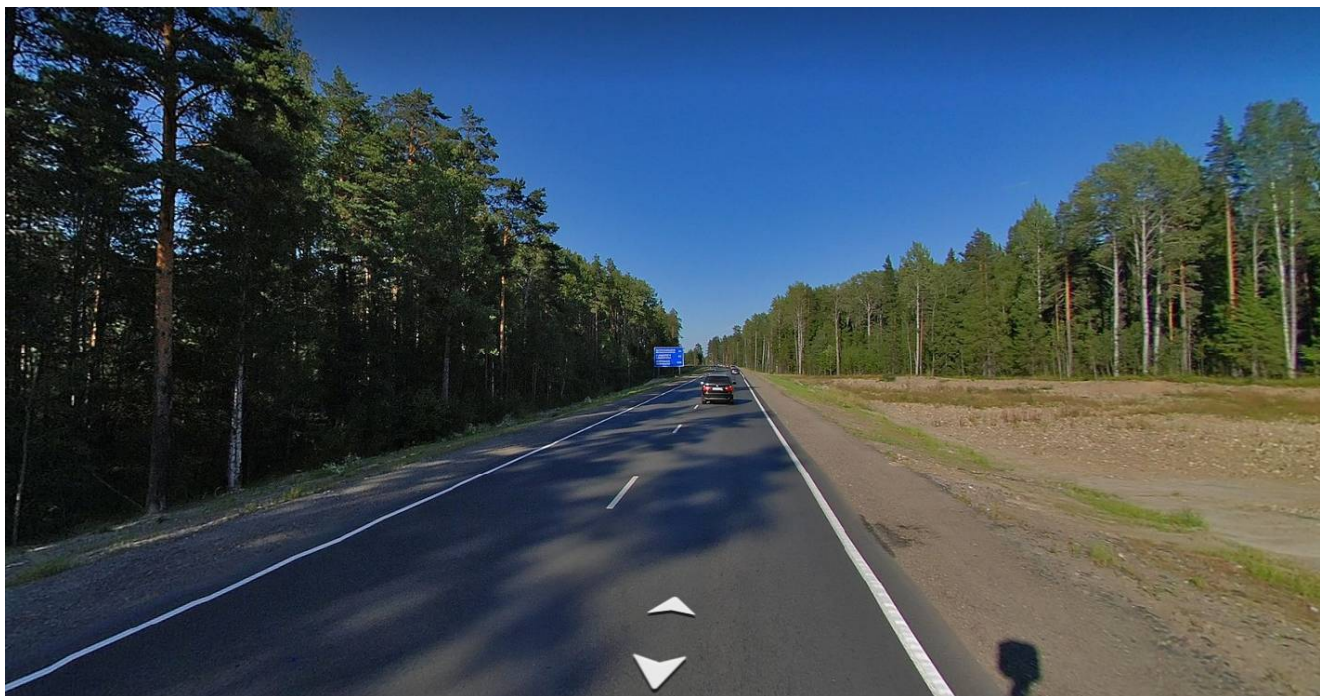


Рисунок 4 Маршрут испытаний, трасса Е-105, участок Петрозаводск - Матросы

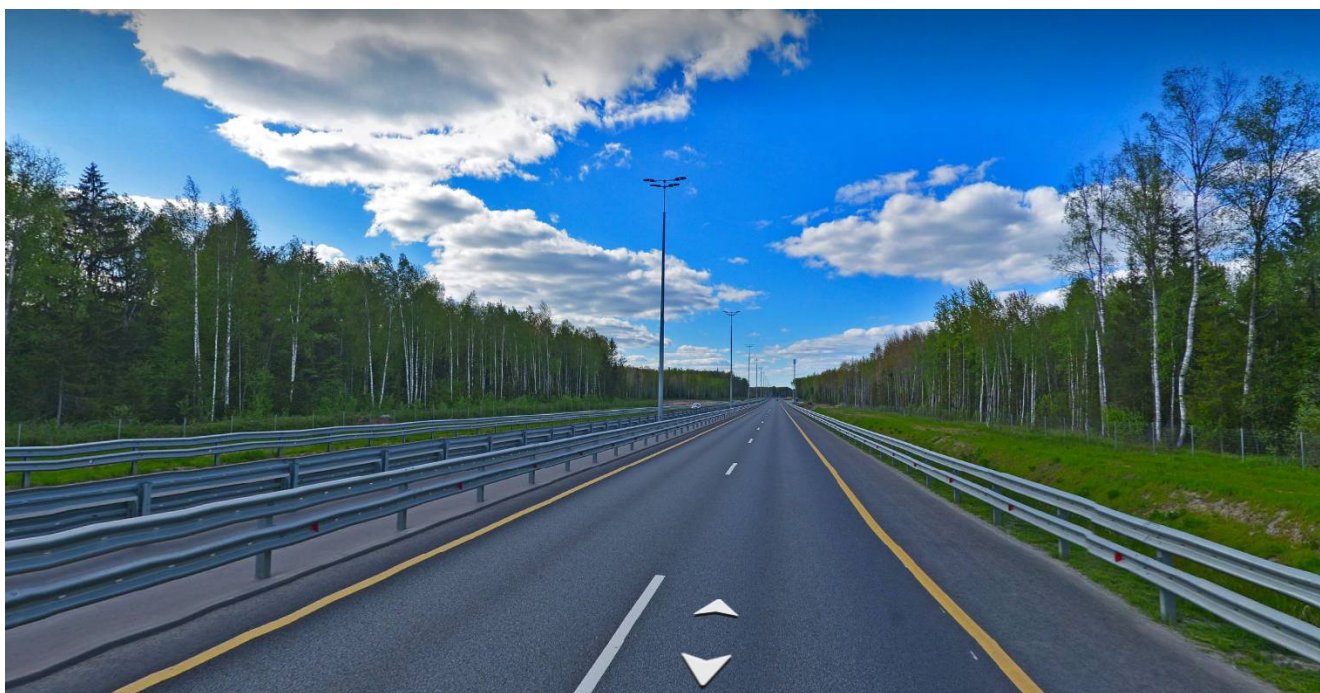


Рисунок 5 Маршрут испытаний, автодорога М-11, участок Санкт-Петербург – В.Новгород



Рисунок 6 Маршрут испытаний, автодорога М-10, р-н оз.Валдай

5.4 Состав орбитальных группировок ГНСС в период проведения испытаний приведен в таблице 1 (по данным сайта ИАЦ КВНО - <https://glonass-iac.ru>).

Таблица 1. Состав орбитальных группировок ГНСС

Количество НКА	GPS	ГЛОНАСС	Beidou	Galileo
Всего	32	26	49	27
Используется по целевому назначению	31	22	44	22
Не используется по целевому назначению, в т.ч.	1	3	5	5
На этапе ввода в систему	0	1	н/д	н/д
Временно выведен	1	3	н/д	н/д
На исследовании главного конструктора	0	0	н/д	н/д
Орбитальный резерв	0	0	н/д	н/д
На этапе летных испытаний	0	0	н/д	н/д

5.5 Характеристики условий навигации по сигналам ГНСС на маршруте испытаний определялись по показаниям приемника SigmaQM из состава МИДЛ.

6 РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

6.1 Условия навигации по сигналам ГНСС

6.1.1 Сглаженные графики количества видимых НКА и PDOP для всех ГНСС и участков маршрута приведены на рисунках 7 - 10. Для количества НКА использован

усредняющий фильтр, для PDOP – медианный.

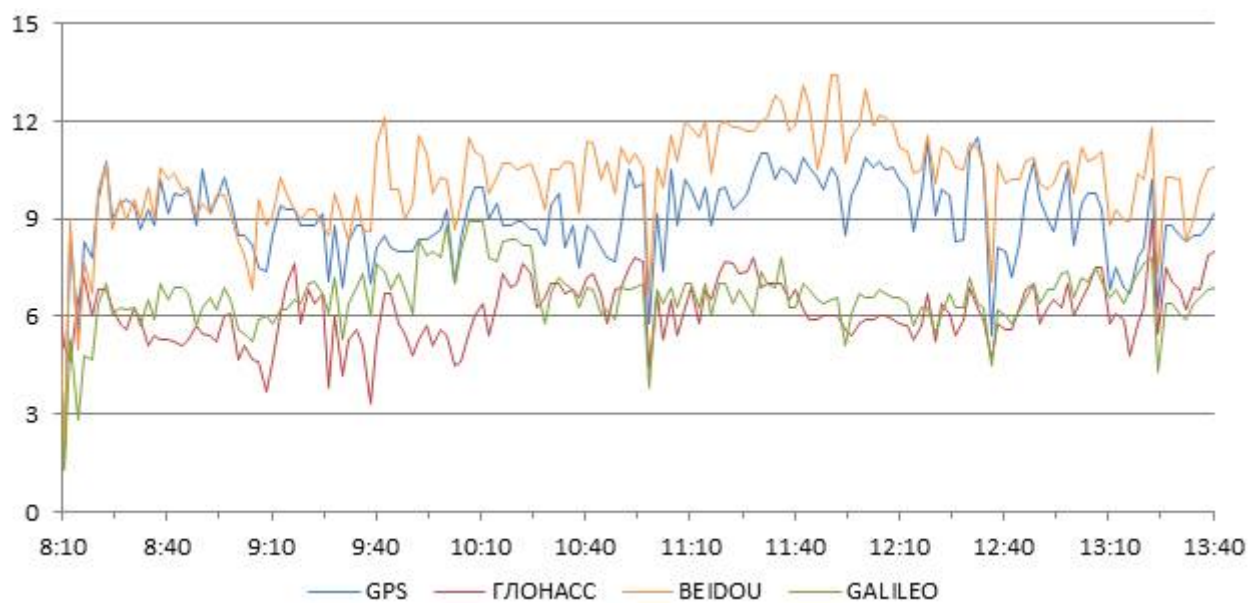


Рисунок 7 Количество видимых НКА. Участок 1 - Москва - Вологда

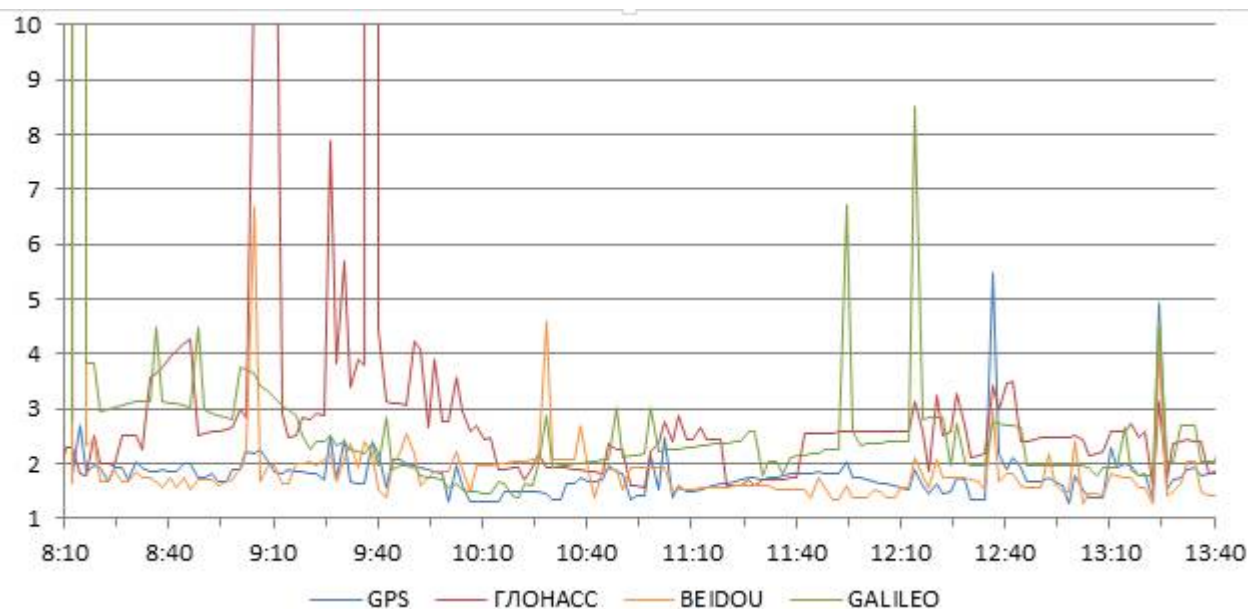


Рисунок 8 Геометрический фактор PDOP. Участок 1 - Москва – Вологда
(значения выше 10 не показаны)

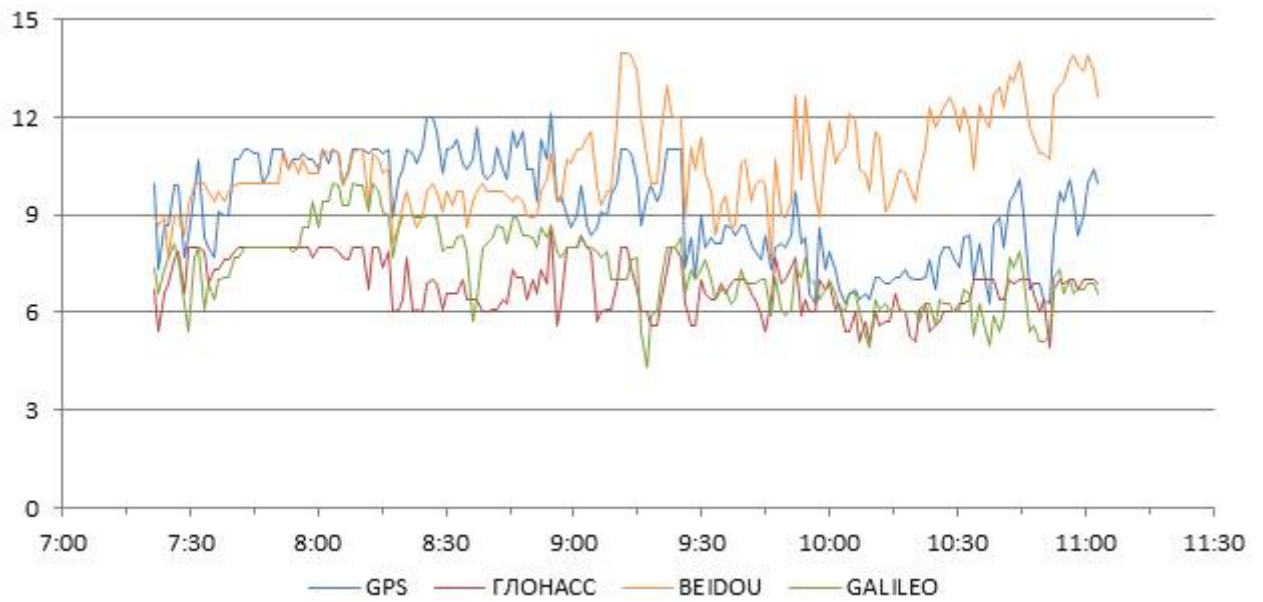


Рисунок 9 Количество видимых НКА. Участок 2 – Вологда – Вытегра

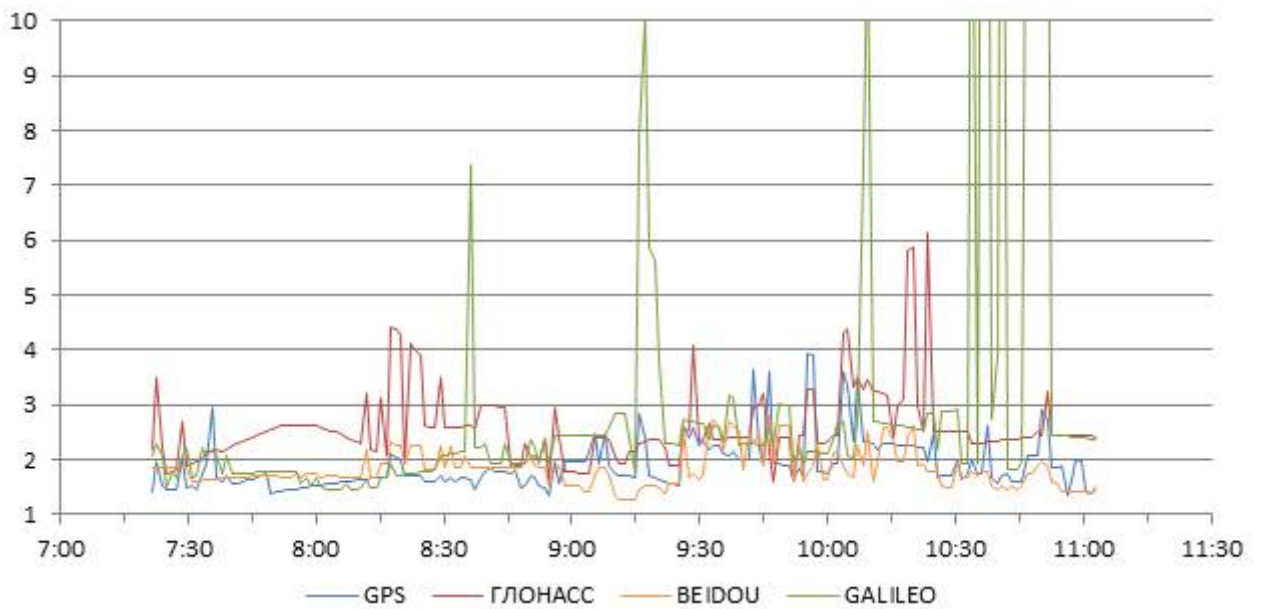


Рисунок 10 Геометрический фактор PDOP. Участок 2 – Вологда – Вытегра
(значения выше 10 не показаны)

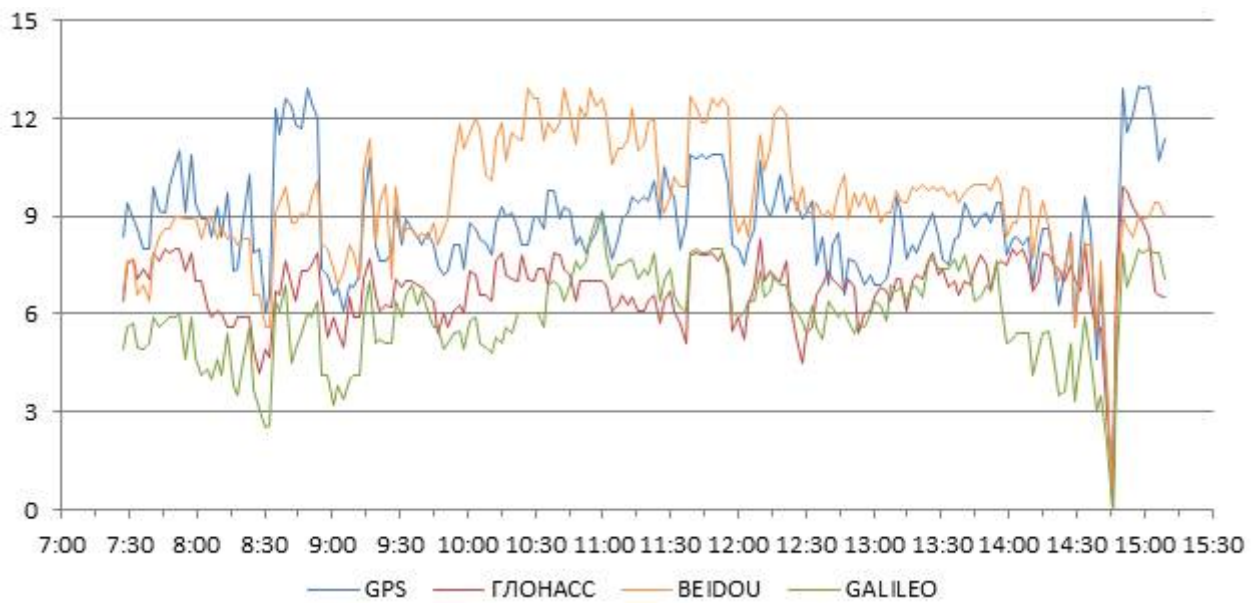


Рисунок 11 Количество видимых НКА. Участок 3 – Вытегра - Петрозаводск

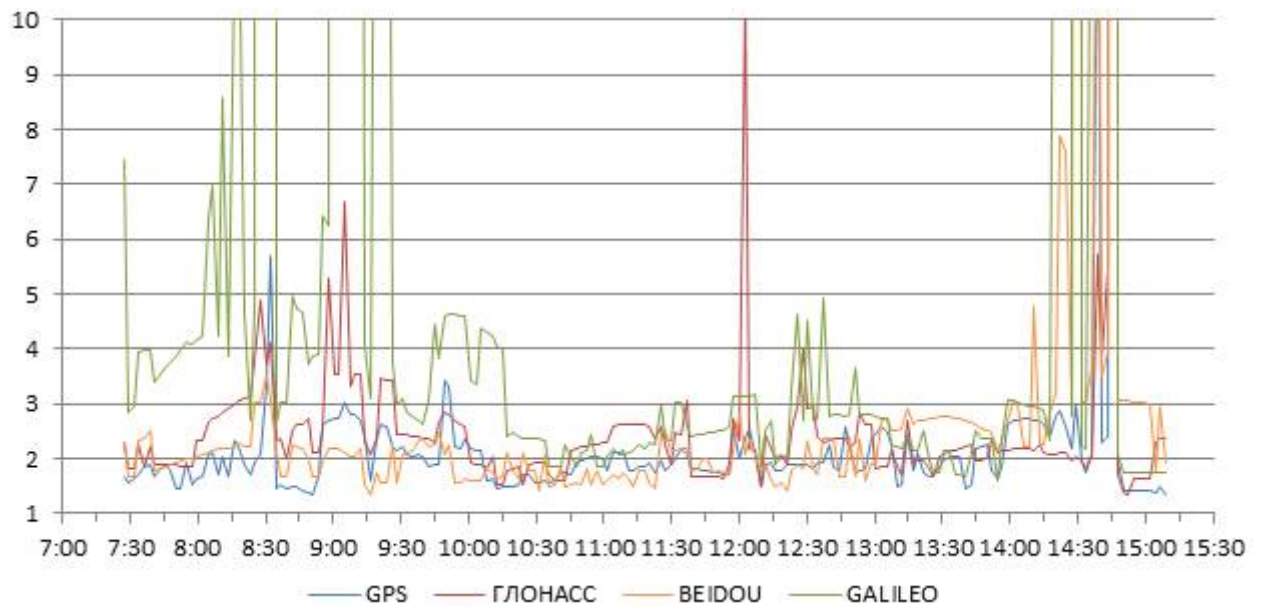


Рисунок 12 Геометрический фактор PDOP. Участок 3 – Вытегра - Петрозаводск
(значения выше 10 не показаны)

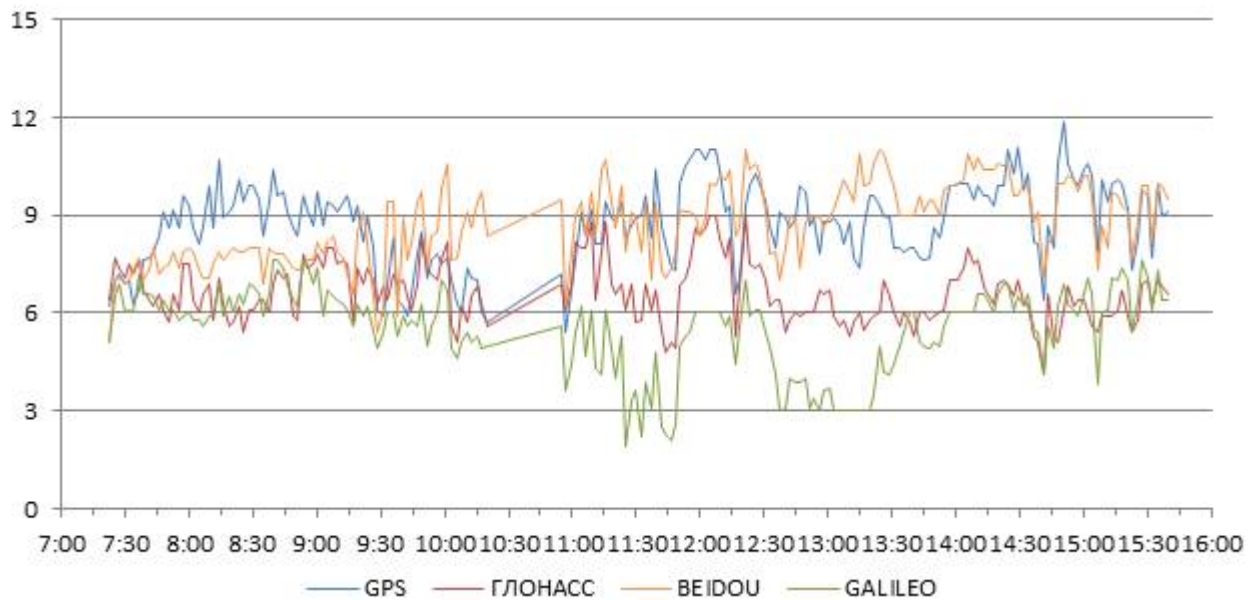


Рисунок 13 Количество видимых НКА. Участок 4 – Петрозаводск – Санкт-Петербург

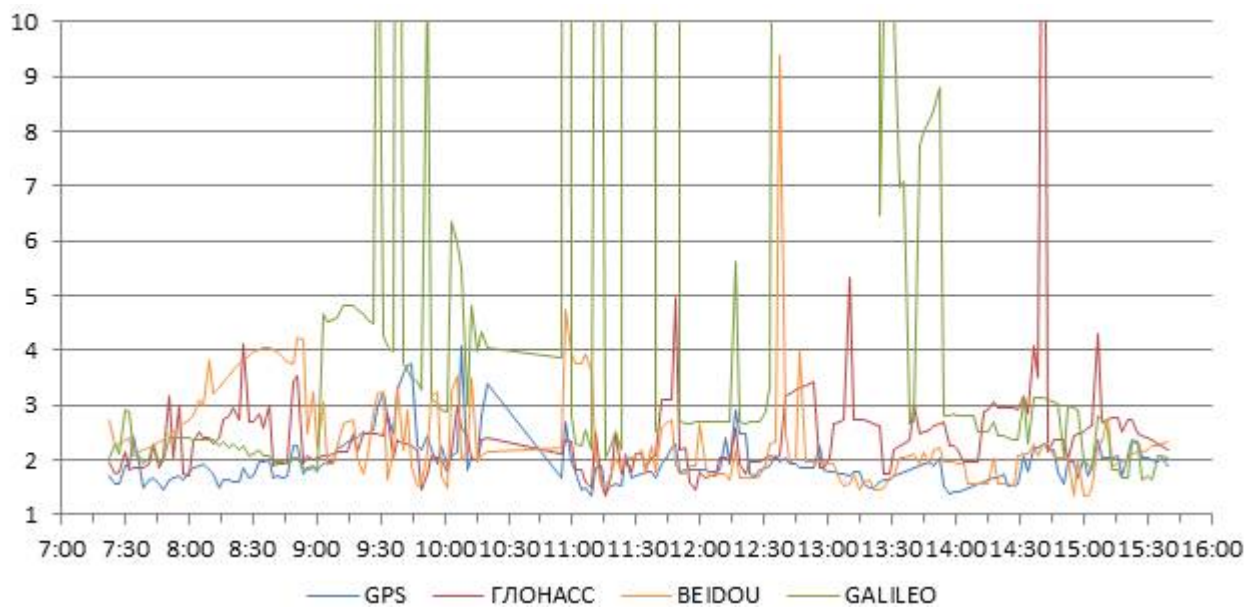


Рисунок 14 Геометрический фактор PDOP. Участок 4 – Петрозаводск – Санкт-Петербург (значения выше 10 не показаны)

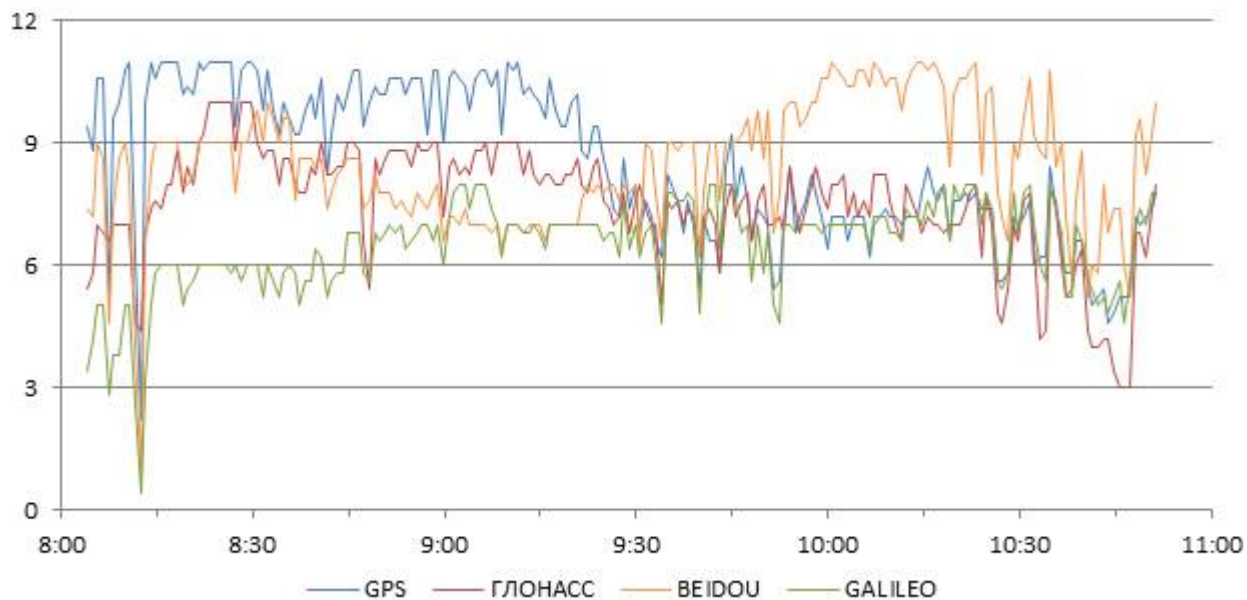


Рисунок 15 Количество видимых НКА. Санкт-Петербург - Валдай

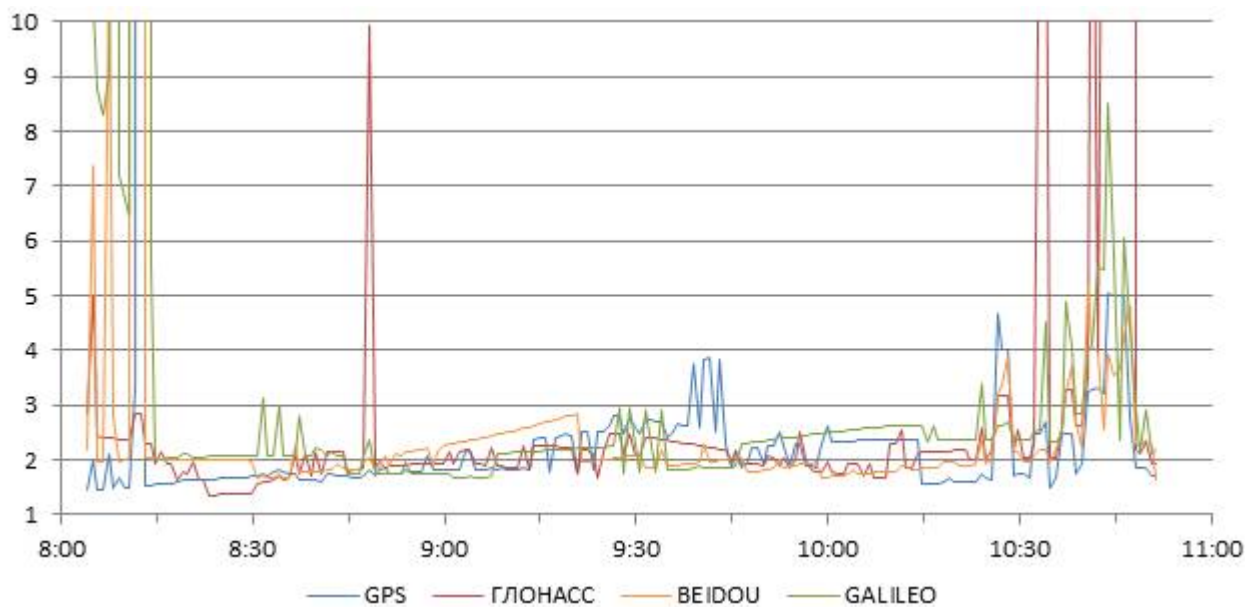


Рисунок 16 Геометрический фактор PDOP. Санкт-Петербург – Валдай
(значения выше 10 не показаны)

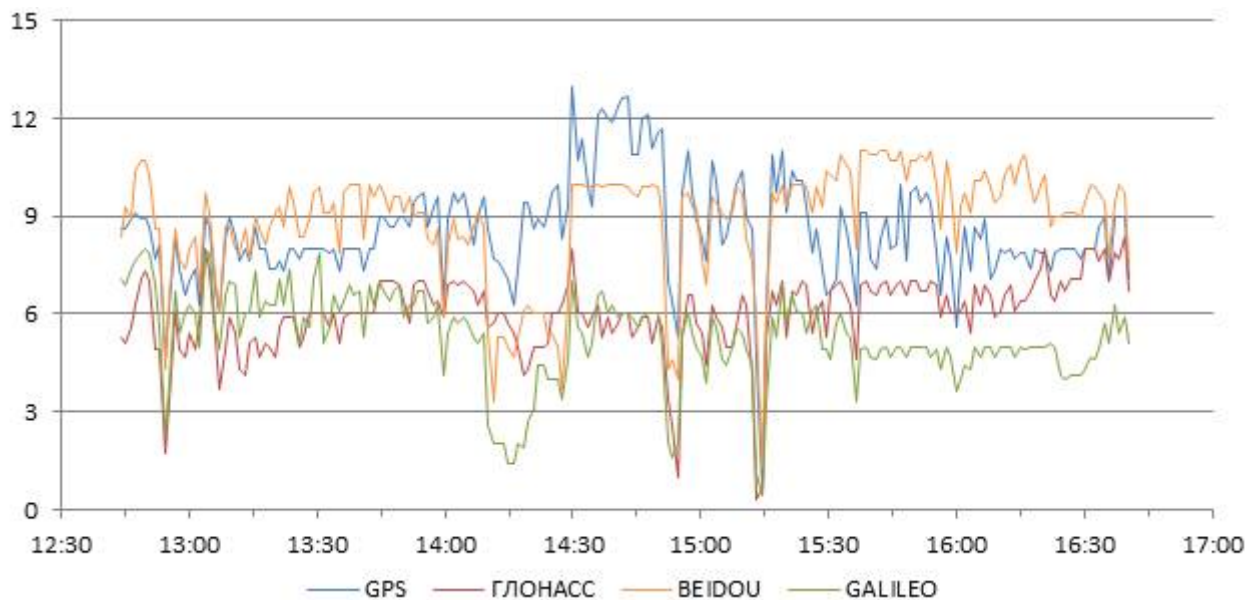


Рисунок 17 Количество видимых НКА. Участок 6 – Валдай - Москва

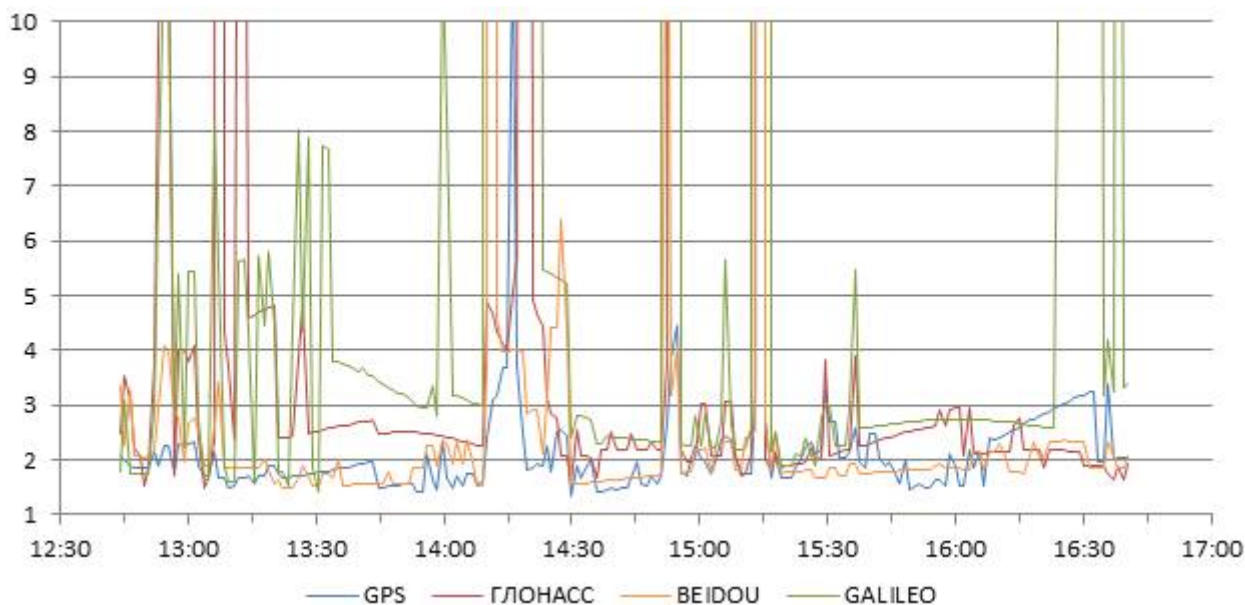


Рисунок 18 Геометрический фактор PDOP. Участок 6 – Валдай – Москва
(значения выше 10 не показаны)

6.1.2 Интегральные характеристики условий навигации на участках маршрута и в целом на маршруте приведены в таблице 2.

Таблица 2. Интегральные характеристики условий навигации на маршруте

Участок	Среднее кол-во видимых НКА					Медиана PDOP					Доступность, %				
	GPS	ГЛОНАСС	Beidou	Galileo	ГЛОНАСС +Beidou	GPS	ГЛОНАСС	Beidou	Galileo	ГЛОНАСС +Beidou	GPS	ГЛОНАСС	Beidou	Galileo	ГЛОНАСС +Beidou
1	8.9	6.1	10.1	6.5	16.2	1.8	2.6	1.8	2.4	1.3	97%	93%	96%	91%	99%
2	9.2	6.8	10.6	7.3	17.4	1.7	2.4	1.8	2.2	1.3	100%	98%	100%	92%	100%
3	8.8	6.8	9.5	5.9	16.3	1.9	2.3	2.2	2.9	1.4	97%	96%	95%	83%	99%
4	8.7	6.6	8.7	5.5	15.3	1.9	2.4	2.1	2.9	1.5	98%	96%	97%	71%	99%
5	8.5	7.5	8.4	6.5	16.0	1.8	2.1	2.0	2.3	1.4	98%	94%	96%	90%	99%
6	8.6	6.0	8.9	5.3	14.9	1.9	2.5	1.9	2.9	1.4	96%	89%	94%	76%	98%
Итого	8.8	6.6	9.4	6.1	16.0	1.9	2.4	1.9	2.6	1.4	97%	95%	96%	83%	99%

6.2 Погрешности позиционирования по сигналам ГНСС

6.2.1 Оценка расчетной погрешности позиционирования по сигналам ГНСС проводилась на основе анализа треков, построенных программой RTKPOST (библиотека RTKLIV v.2.4.3 b34) отдельно по каждой ГНСС.

6.2.2 В качестве исходных данных использованы навигационные измерения, полученные на маршруте испытаний с помощью приемника SigmaQM.

6.2.3 При построении треков были использованы следующие настройки программы RTKPOST:

- режим позиционирования – Single;
- маска угла возвышения – 5° .
- ионосферная коррекция – Broadcast;
- тропосферная коррекция – Saastamoinen;
- эфемериды, поправки к часам – Broadcast.

6.2.4 Итоговые погрешности позиционирования по отдельным ГНСС приведены в таблице 3.

Таблица 3. Расчетные погрешности позиционирования по сигналам ГНСС (треки ПО RTKLIV)

ГНСС	Погрешности по высоте, м					Погрешности в плане, м					Кол-во место-определений
	СКП	по уровню				СКП	по уровню				
		P=0.5	P=0.68	P=0.95	P=0.997		P=0.5	P=0.68	P=0.95	P=0.997	
GPS	3.0	2.0	2.9	5.7	11.5	1.6	1.1	1.5	2.5	7.6	19 548
ГЛОНАСС	7.5	3.4	5.1	11.2	48.4	5.1	3.1	4.2	7.6	27.5	19 324
Beidou	4.1	2.4	3.3	6.5	18.6	2.9	1.9	2.3	3.9	9.8	19 590
Galileo	4.1	2.2	3.0	6.3	23.5	2.2	1.1	1.4	2.7	11.5	16 677
ГЛОНАСС+Beidou	3.7	2.1	3.1	5.7	13.0	2.8	1.7	2.2	3.7	8.0	19 645

6.3 Работоспособность и эффективность СДКМ

6.3.1 Проверка работоспособности широкозонного функционального дополнения СДКМ и оценка его эффективности проводились с использованием двух образцов НАП на базе NV08C-SCM и НАП SigmaQM. Один из образцов НАП NV08C-SCM на всем протяжении маршрута работал с разрешенным дифрежимом по корректирующей информации (КИ) от СДКМ от спутников Луч-5Б (PRN 125), Луч-5В (PRN 140), Луч-5А (PRN 141) (далее – режим СДКМ). Второй образец - в абсолютном режиме. НАП SigmaQM при движении по маршруту в прямом направлении работала в режиме СДКМ, в обратном направлении – в абсолютном режиме.

6.3.2 Данные о количестве местоопределений в дифференциальном режиме (абсолютные и в процентах по отношению к общему количеству местоопределений с разрешенным дифрежимом) по показаниям НАП на базе NV08C-SCM и SigmaQM приведены в таблицах 4 и 5.

Таблица 4 Доля местоопределений с использованием КИ СДКМ по данным NV08C-SCM

Участок	Всего отсчетов	Дифрежим по КИ СДКМ	
		Отсчетов	%
1	24 147	12 115	50%
2	13 584	8 076	59%
3	22 898	13 992	61%
4	18 332	12 439	68%
5	10 373	6 209	60%
6	14 140	7 454	53%
Итого	103 474	60 285	58%

Таблица 5 Доля местоопределений с использованием КИ СДКМ по данным SigmaQM

Участок	Всего отсчетов	Дифрежим по КИ СДКМ	
		Отсчетов	%
1	4 674	4 564	98%
2	2 798	2 707	97%
3	4 483	3 678	82%
Итого	11 955	10 949	92%

6.3.3 По показаниям НАП SigmaQM КИ СДКМ принималась от спутников Луч-5Б и Луч-5В. Доля местоопределений с использованием этой КИ составила соответственно 55% и 45% от общего количества местоопределений в дифрежиме.

6.3.4 Погрешности местоопределений НАП NV08C-CSM и SigmaQM в режиме

СДКМ и в абсолютном режиме приведены в таблицах 6 и 7.

Таблица 6. Погрешности позиционирования НАП NV08C-CSM

Участок	Погрешности по высоте, м					Погрешности в плане, м					Кол-во место-определений
	СКП	по уровню				СКП	по уровню				
		P=0.5	P=0.68	P=0.95	P=0.997		P=0.5	P=0.68	P=0.95	P=0.997	
Режим СДКМ											
1	9.8	2.9	4.1	6.4	13.6	5.1	1.5	1.9	3.2	8.7	22 576
2	2.7	1.2	2.0	4.1	12.6	7.3	1.2	1.9	3.2	8.1	12 482
3	2.9	2.4	3.0	4.6	7.8	1.7	1.2	1.4	2.4	4.9	10 239
4	1.2	0.5	0.7	1.8	7.8	1.0	0.8	1.0	1.8	2.4	3 769
5	2.5	1.8	2.6	4.6	7.1	1.2	0.9	1.2	2.2	3.7	8 268
6	2.3	0.8	1.3	2.7	8.6	1.3	0.8	1.0	1.9	6.5	10 801
Итого	6.0	1.7	2.7	5.6	10.8	4.4	1.1	1.5	2.9	7.1	68 135
Абсолютный режим											
1	9.9	3.2	4.1	6.7	17.9	5.4	1.8	2.4	4.5	8.8	22 483
2	3.3	2.2	2.8	4.9	14.1	7.3	1.5	2.0	3.8	8.3	12 705
3	3.3	1.4	2.1	5.2	16.2	2.0	1.5	1.8	3.1	4.7	14 832
4	3.6	2.4	4.1	6.6	8.5	1.6	1.2	1.5	3.0	4.7	12 201
5	3.6	2.6	4.2	6.0	10.5	1.3	1.0	1.3	2.5	4.6	8 276
6	2.4	0.9	1.3	2.7	13.8	1.5	1.0	1.3	2.4	5.4	10 761
Итого	5.9	2.0	3.1	6.2	15.3	4.2	1.4	1.8	3.7	6.8	81 258

Таблица 7. Погрешности позиционирования НАП SigmaQM

Участок	Погрешности по высоте, м					Погрешности в плане, м					Кол-во место-определений
	СКП	по уровню				СКП	по уровню				
		P=0.5	P=0.68	P=0.95	P=0.997		P=0.5	P=0.68	P=0.95	P=0.997	
Режим СДКМ											
1	5.5	2.0	3.1	8.5	33.1	5.3	1.3	2.0	5.0	35.1	4 512
2	6.0	3.3	4.8	10.4	33.9	3.0	1.2	2.0	3.7	21.8	2 536
3	6.6	2.6	4.4	12.1	37.3	4.4	1.4	2.1	5.5	34.1	2 949
Итого	6.0	2.4	3.9	10.3	33.6	4.5	1.3	2.0	4.9	29.4	9 997
Абсолютный режим											
4	3.3	2.0	3.2	6.0	10.6	1.6	1.1	1.5	2.7	5.8	3 214
5	4.3	2.1	3.2	6.4	29.0	3.5	1.9	2.3	3.5	28.6	1 701
6	2.2	1.0	1.5	4.3	12.1	1.3	0.7	1.0	2.0	7.2	2 118
Итого	3.3	1.6	2.6	5.8	15.3	2.1	1.1	1.6	3.0	8.9	7 033

7 ВЫВОДЫ

7.1 Локальные потребительские характеристики ГНСС в условиях трассы оценивались на маршруте г. Москва – г. Вологда – г. Петрозаводск - г. Санкт-Петербург - г. Москва. Зафиксированное количество наблюдаемых НКА и их расположение в целом достаточны для навигации в совмещенном режиме и в большинстве случаев достаточны для навигации отдельно по ГЛОНАСС, GPS, Beidou. При ограничении по углу места в 5° навигация по каждой из этих ГНСС была доступна в 95-97% случаев. Доступность навигации по Galileo – около 83%. Совместное использование сигналов ГЛОНАСС и Beidou увеличивает доступность навигации до 99%.

7.2 Случаи отсутствия навигации по сигналам ГНСС в основном вызваны наличием на трассе транспортных средств с установленными подавителями сигналов ГНСС. Как правило, подавлялись сигналы в диапазоне L1 GPS, а также B1 Beidou и E1 Galileo. Реже в полосу подавления попадали сигналы L1 ГЛОНАСС.

7.3 Расчетная погрешность позиционирования в плане по сигналам ГНСС в одночастотном кодовом режиме ($p=0.68$) на маршруте составила:

- GPS..... 1.5 м.
- ГЛОНАСС 4.2 м
- Beidou..... 2.3 м
- GPS и Galileo 1.4 м.
- ГЛОНАСС+Beidou 2.2 м

7.4 Проверка работоспособности СДКМ показала поступление КИ СДКМ от спутников Луч-5Б и Луч-5В. По показаниям НАП NV08C-CSM и SigmaQM, использованных при проверке, доля местоопределений, полученных с использованием КИ СДКМ, от общего числа местоопределений составила 58 и 92%, соответственно. У NV08C-CSM в режиме СДКМ погрешности позиционирования ниже приблизительно на 20% по сравнению с абсолютным режимом. У НАП SigmaQM в режиме СДКМ погрешности позиционирования оказались выше, чем в абсолютном режиме.

Начальник лаборатории отд. 03004
АО «ЦНИИмаш»



В.Л. Лапшин

Инженер 1-й категории отд. 03004
АО «ЦНИИмаш»



Д.В. Виндерских