



Дата: 23.07.2024

ПРОТОКОЛ № 13/2024
испытаний с использованием
мобильной измерительно-диагностической лаборатории
и средств стенда отработки перспективных навигационных технологий
по определению локальных потребительских характеристик ГНСС

1	Цель 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	8
6.1	Условия навигации по сигналам ГНСС.....	8
6.2	Погрешности позиционирования по сигналам ГНСС	9
6.3	Помеховая обстановка.....	11
7	Выводы.....	17
Приложение 1 Графики условий навигации на участках маршрута		18
Приложение 2 Расчетные погрешности позиционирования по сигналам ГНСС (треки ПО RTKLIB) на участках маршрута.....		24

1 ЦЕЛЬ ИСПЫТАНИЙ

1.1 Целями испытаний являлись:

- оценка локальных потребительских характеристик глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС, GPS, Beidou, Galileo (далее – ГНСС) в городских условиях;
- оценка помеховой обстановки на маршруте.

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;
- расчетные погрешности местоопределений по сигналам ГНСС.

2.2 Характеристики определялись для маски угла места 5°.

3 СРЕДСТВА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

3.1 Испытания проводились с использованием мобильной измерительно-диагностической лаборатории (МИДЛ) ГЮИД.464979.001 из состава Системы независимой оценки потребительских характеристик (СНОПХ) ГЮИД.466535.022 и комплекта средств записи сигналов ГНСС (КС ЗС) ГЮИД.464945.001 из состава стенда для отработки перспективных навигационных технологий в сложных условиях СОНТ НЦПВ.464971.001.

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 08.07.2024 по 13.07.2024.

4.2 Место проведения испытаний: автомобильный маршрут г. Москва - г. Н. Новгород - г. Казнь - г. Уфа - г. Казань - г. Н. Новгород - г. Казань - г. Москва. Маршрут проходил по трассам М7 "Волга" и М12 "Восток". Общая протяженность маршрута - 2800 км.

4.3 Маршрут был разбит на 6 участков (рисунки 1 и 2):

- Участок 1 Москва – Н. Новгород
- Участок 2 Н. Новгород - Казань
- Участок 3 Казань - Уфа
- Участок 4 Уфа - Казань
- Участок 5 Казань – Н. Новгород
- Участок 6 Н. Новгород - Москва

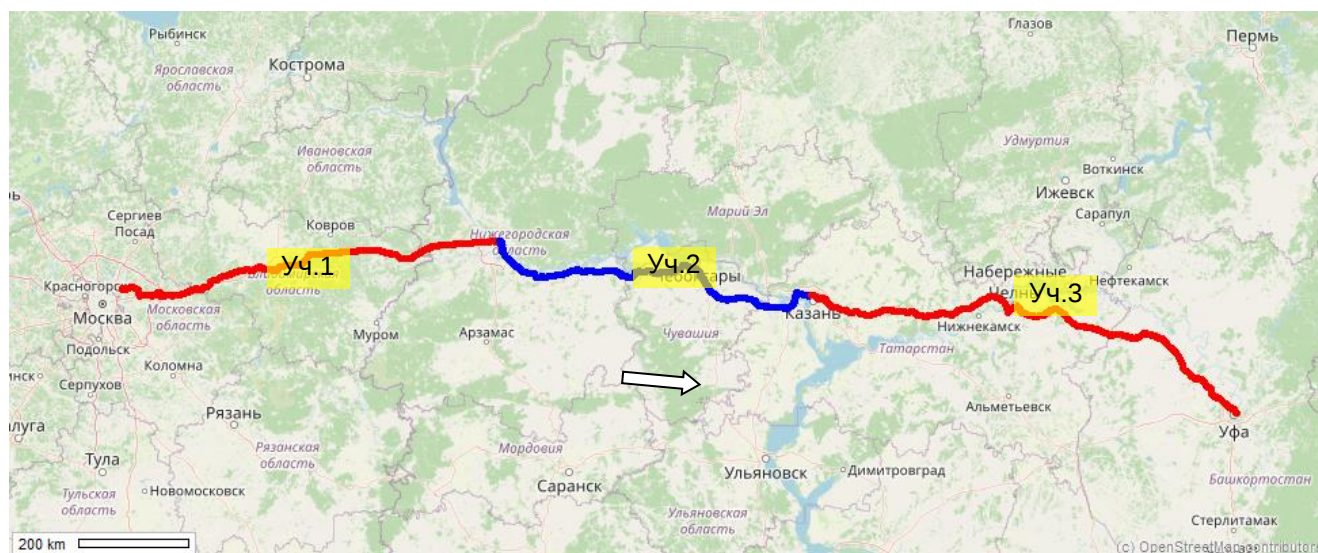


Рисунок 1 Маршрут испытаний в прямом направлении

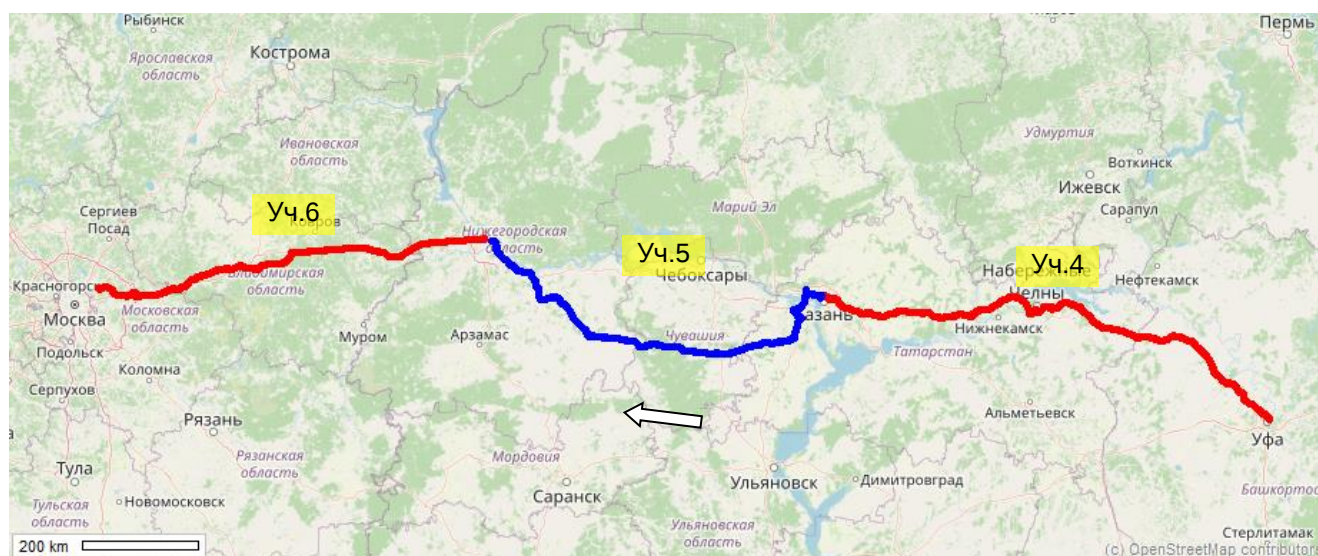


Рисунок 2 Маршрут испытаний в обратном направлении

5 УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

5.1 Маршрут обеспечивает характерные для загородной автомобильной трассы, траектории движения, условия затенения и переотражения сигналов ГНСС.

5.2 Фотографии отдельных участков маршрута представлены на рисунках 3÷5.

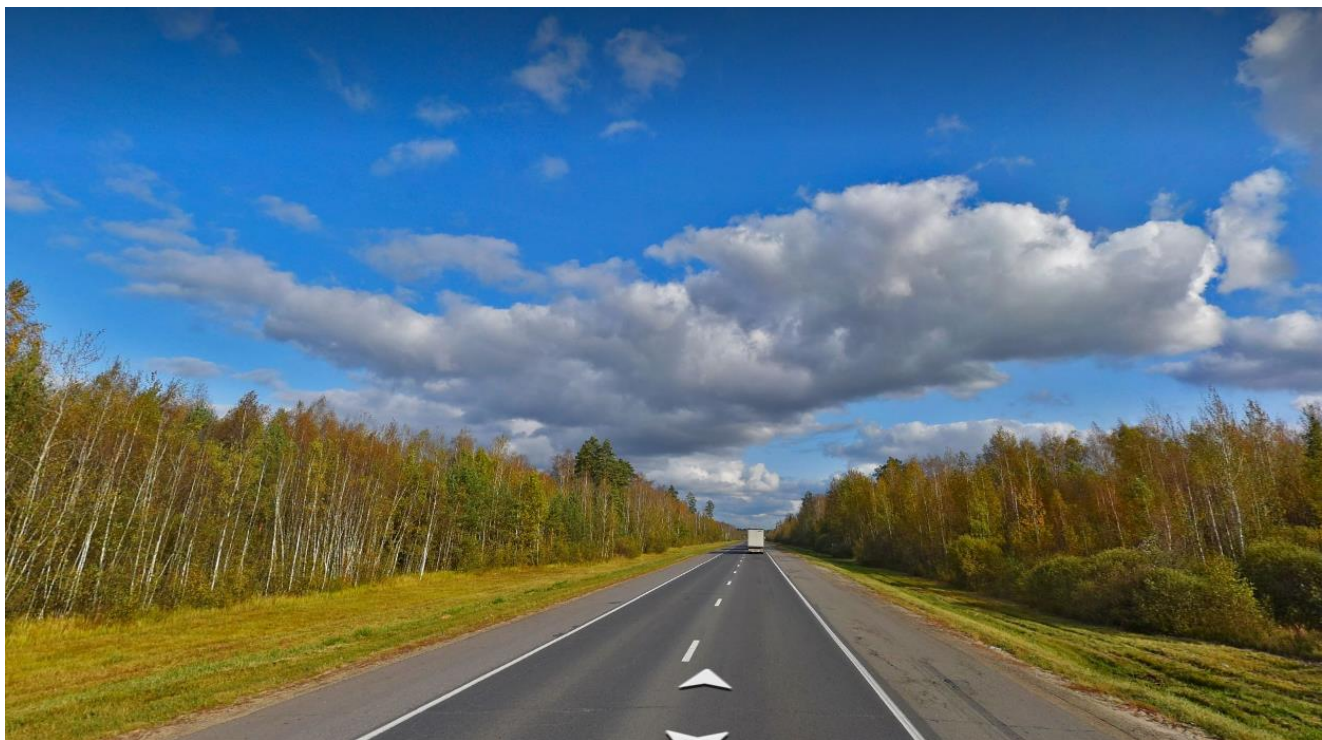


Рисунок 3 Участок 1. Трасса М7 "Волга", Южное ш.

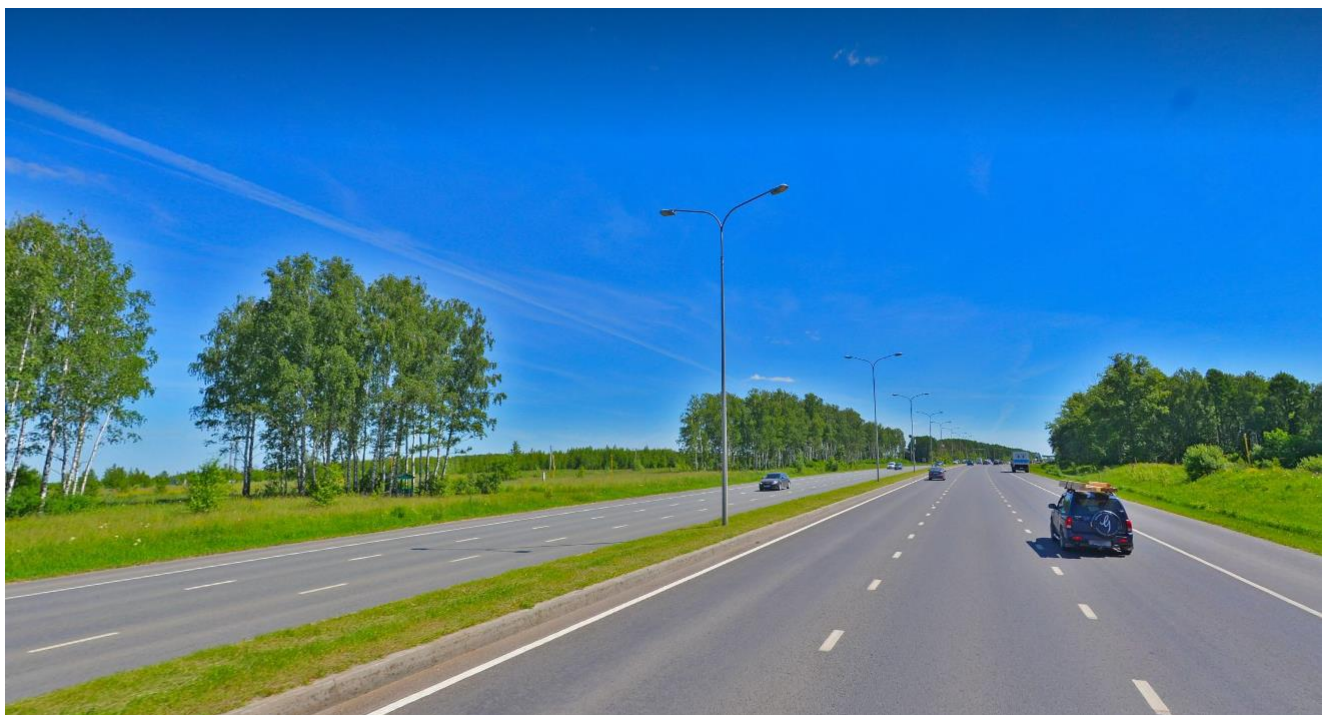


Рисунок 4 Участок 3. Трасса М7 "Волга", Мамадышский тракт

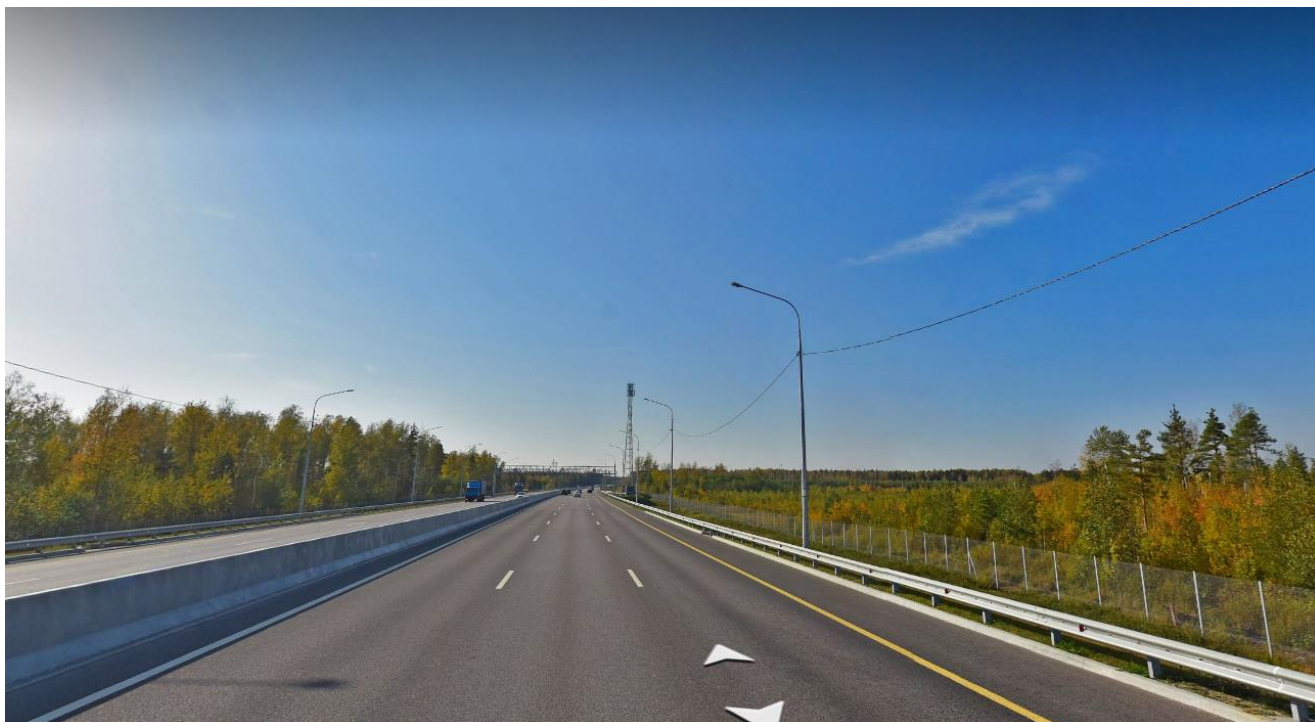


Рисунок 5 Участок 6. Трасса М12 "Восток", обход Ногинска

5.3 Состояние орбитальных группировок ГНСС на день проведения испытаний по данным сайта ИАЦ КВНО - <https://glonass-iac.ru> приведено на рисунках 6-9.

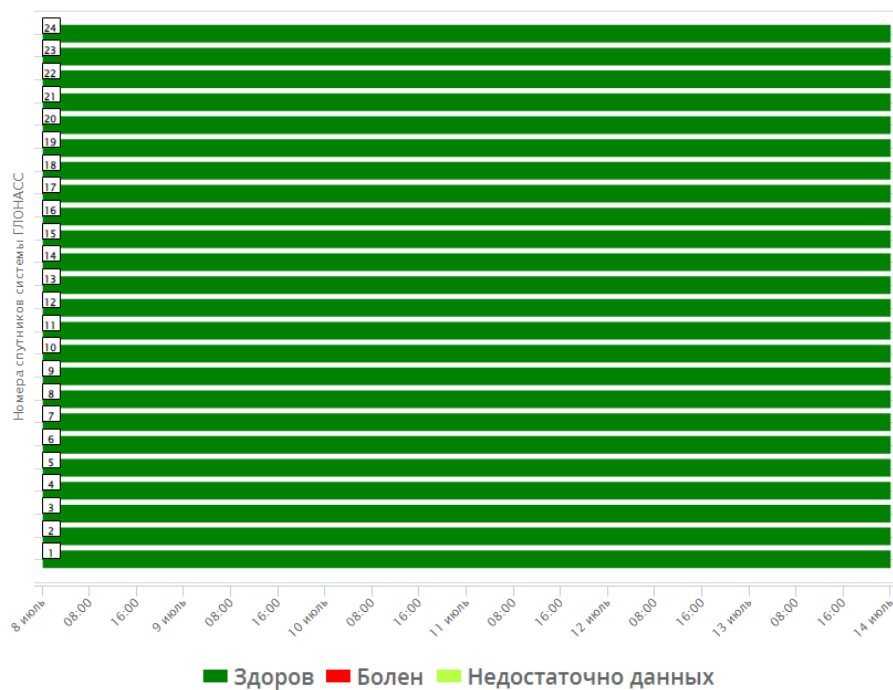


Рисунок 6. Состояние группировки НКА ГЛОНАСС

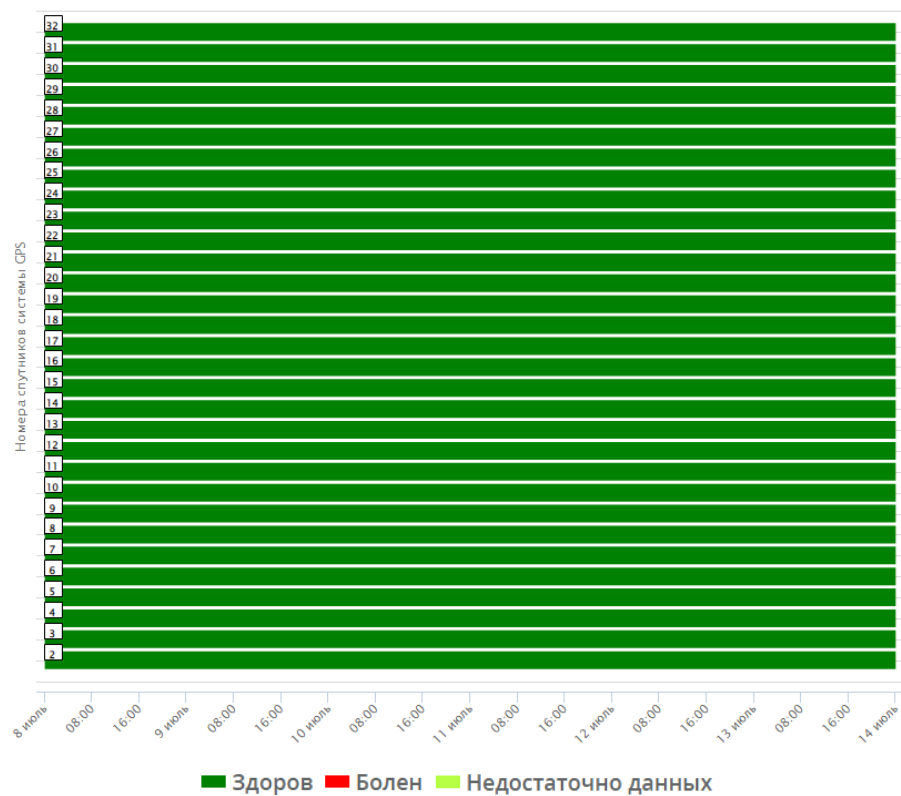


Рисунок 7. Состояние группировки НКА GPS

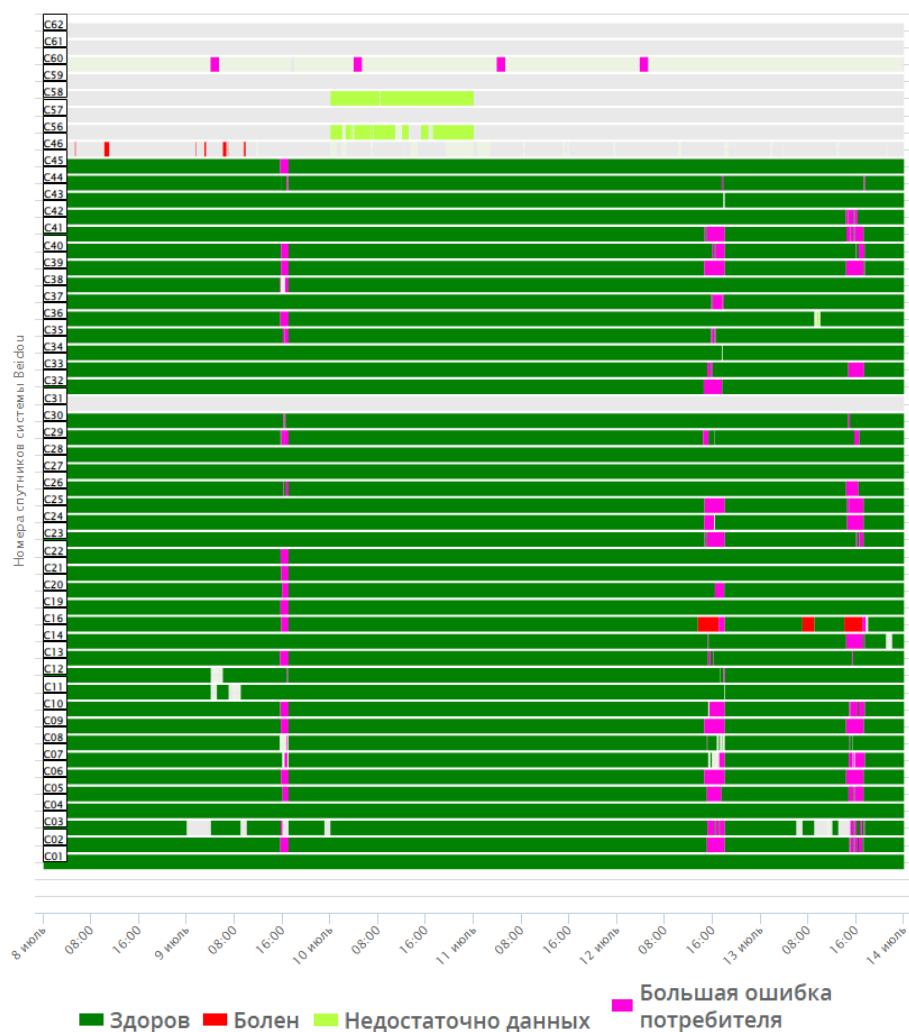


Рисунок 8. Состояние группировки НКА Beidou

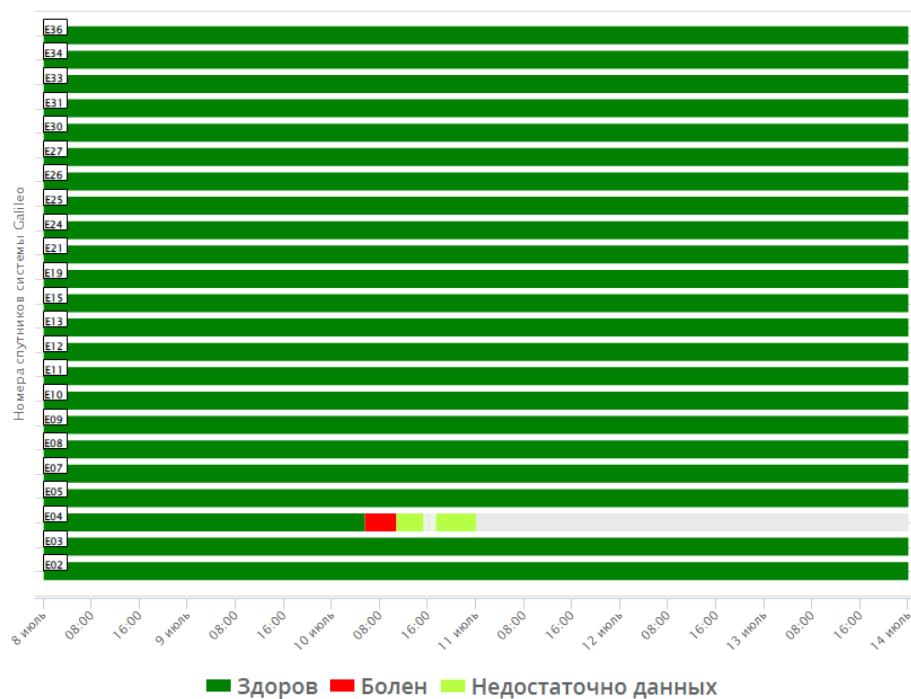


Рисунок 9. Состояние группировки НКА Galileo

5.4 Характеристики условий навигации по сигналам ГНСС определялись по показаниям контрольного приемника Delta3 из состава КС ЗС.

6 РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

6.1 Условия навигации по сигналам ГНСС

6.1.1 Графики количества видимых НКА и PDOP на участках маршрута приведены в Приложении 1.

6.1.2 Интегральные характеристики условий навигации на маршруте испытаний приведены в таблице 1

Таблица 1. Интегральные характеристики условий навигации на маршруте испытаний

ГНСС	Среднее кол-во видимых НКА	Медиана PDOP	Доступность ¹
GPS	9.4	1.7	98.3%
ГЛОНАСС	7.8	1.9	99.1%
Beidou	17.3	1.3	99.9%
Galileo	7.5	1.9	95.5%
ГЛОНАСС+Beidou	25.1	1.0	99.9%
Примечание: Доступность определена как доля отсчетов с PDOP<6 от общего числа отсчетов			

6.2 Погрешности позиционирования по сигналам ГНСС

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

6.2.2 В качестве исходных данных использованы навигационные измерения с интервалом 10с. и бортовые эфемериды, 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 расчетные погрешности позиционирования по отдельным ГНСС приведены таблице 2. Погрешности позиционирования по отдельным ГНСС на участках маршрута приведены в приложении 2.

Таблица 2. 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	3.4	1.9	2.7	6.4	15.7	2.0	1.2	1.6	2.7	9.1	14 597
ГЛОНАСС	8.5	3.6	5.4	12.4	38.0	4.8	2.8	3.7	7.0	25.8	14 747
Beidou	3.5	2.0	2.9	6.0	18.8	2.1	1.6	2.0	3.2	9.3	14 691
Galileo	8.9	1.6	2.3	5.2	28.0	3.8	1.1	1.4	3.1	18.3	14 301
ГЛОНАСС+Beidou	3.2	1.9	2.8	5.7	15.4	1.9	1.5	1.9	3.2	8.2	14 857

6.3 Помеховая обстановка

6.3.1 В ходе испытаний помеховая обстановка в диапазонах ГНСС контролировалась с использованием средств МИДЛ - пеленгационного измерителя радиопомех Narda IDA-3106 и приемника ГНСС SigmaQM.

6.3.2 При следовании по маршруту неоднократно отмечались помехи сигналам ГНСС, которые проявлялись как на спектре и спектрограмме на экране IDA-310, так и в показаниях SigmaQM (количество захваченных НКА, отношение сигнал/шум). Пример снимка экрана пеленгатора IDA-3106 показан на рисунке 10.

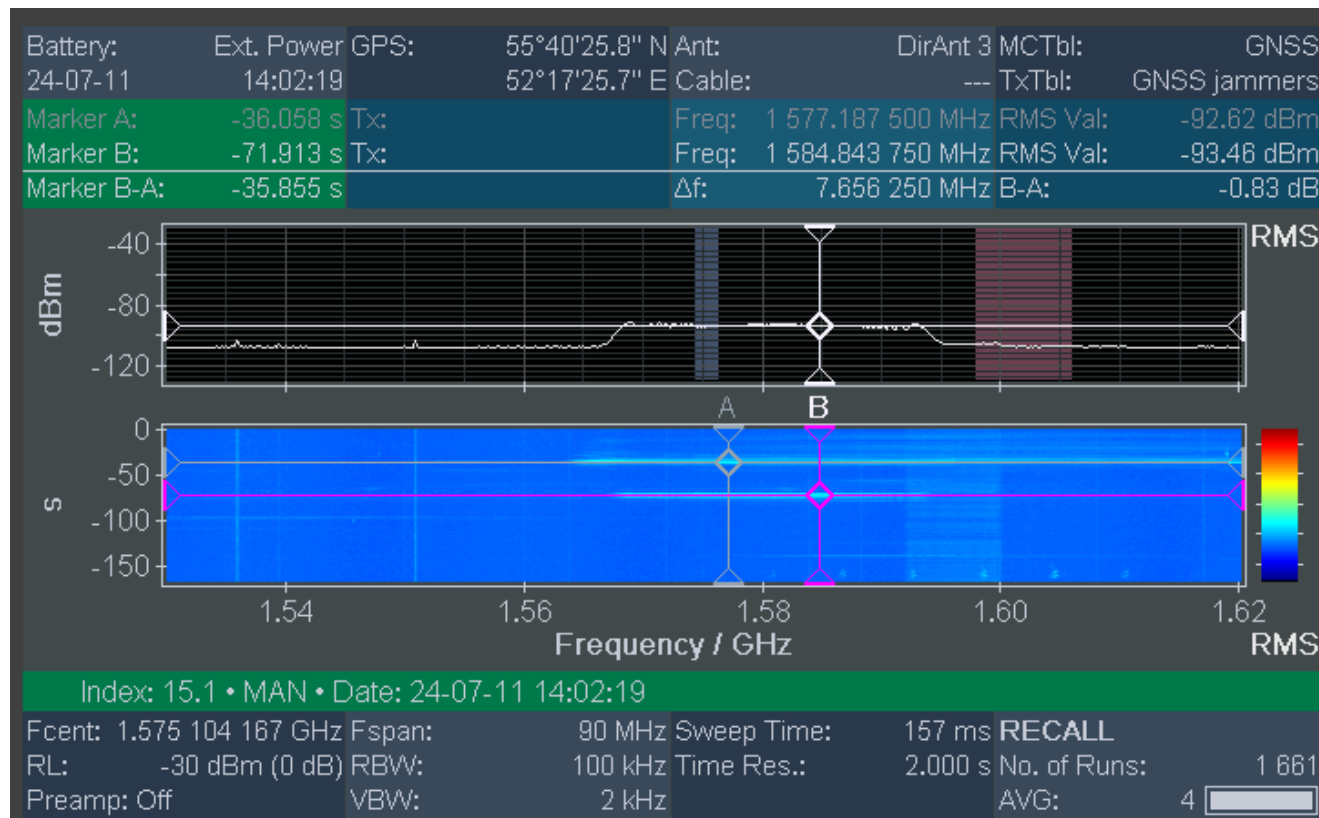


Рисунок 10. Помеха в диапазоне L1 ГНСС на экране пеленгатора IDA-3106

6.3.3 Как правило появление помех происходило при приближении к большегрузным автомобилям, что позволяет предположить использование их водителями подавителей сигналов ГНСС.

6.3.4 Спектры сигналов в диапазоне L1 ГНСС с привязкой ко времени и координатам. По записанным спектрам вычислялись мощность помех сигналам ГНСС¹. На рисунках 11-14 вычисленные мощности в полосе от 1565-1620 МГц с усреднением на интервале 1 км показаны на фоне карты местности в виде цветовой диаграммы в

¹ При измерениях приборами данного класса любой сигнал в диапазоне частот ГНСС, превышающий уровень шумов, можно считать помехой сигналам ГНСС

соответствии со следующей легендой:

-85dBm и ниже

-80dBm

Выше -80dBm



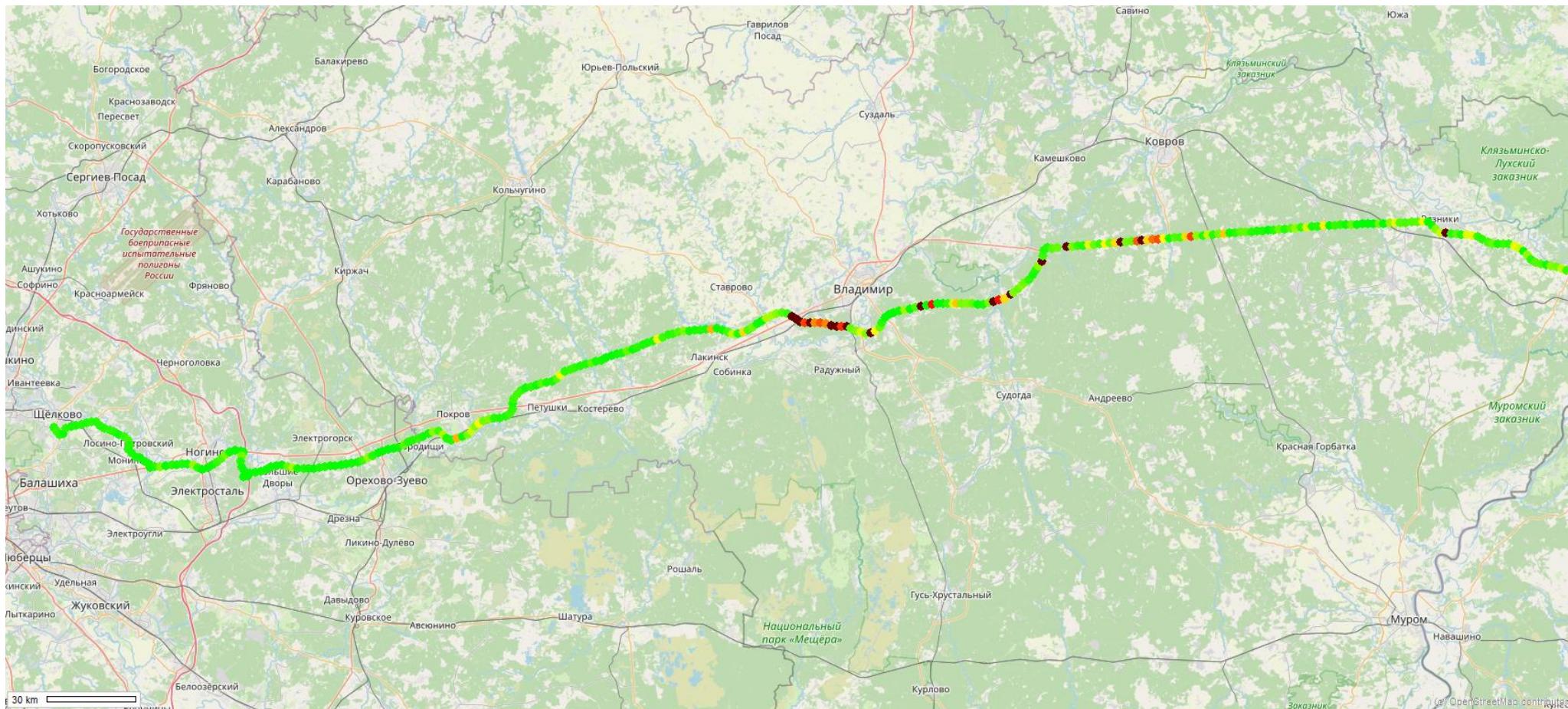


Рисунок 11. Помеховая обстановка. Фрагмент 1

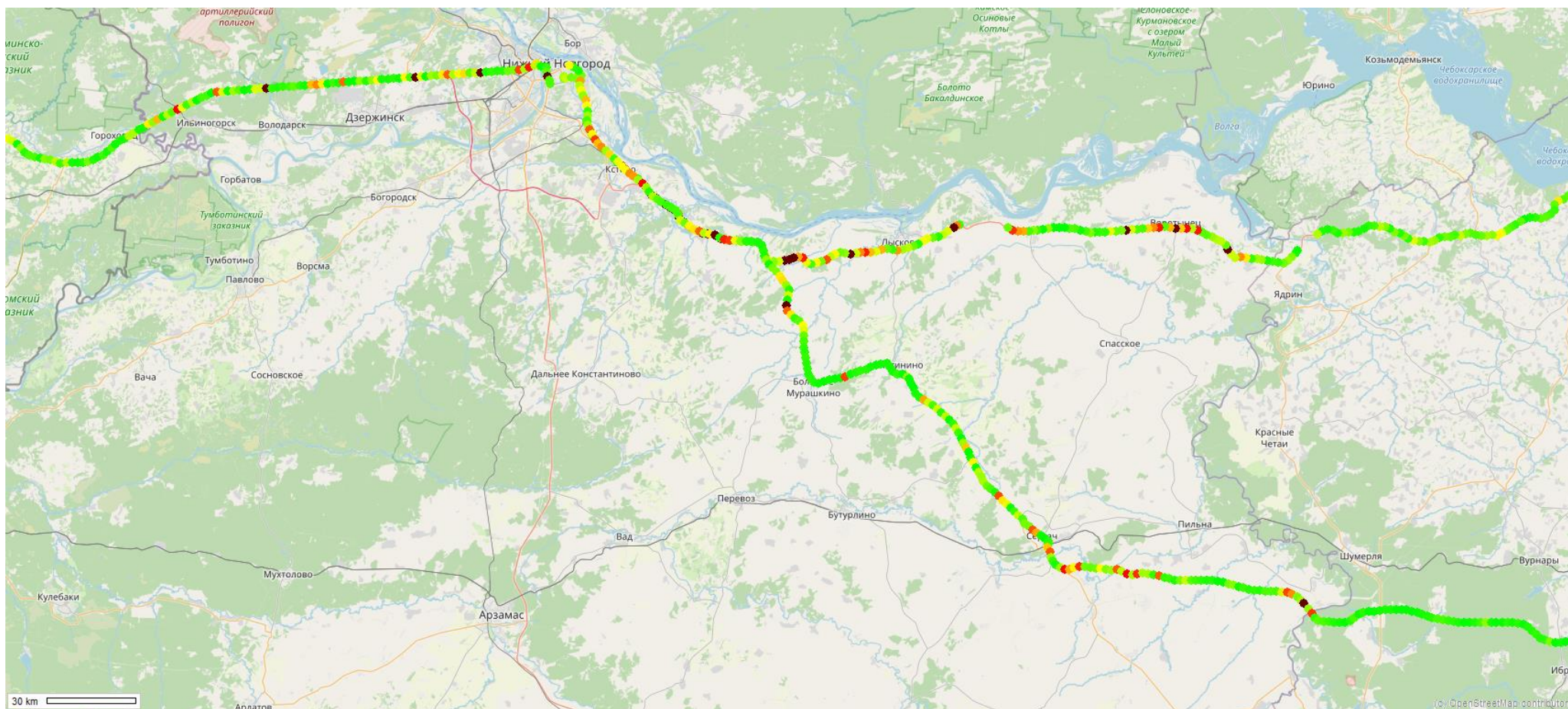


Рисунок 12. Помеховая обстановка. Фрагмент 2

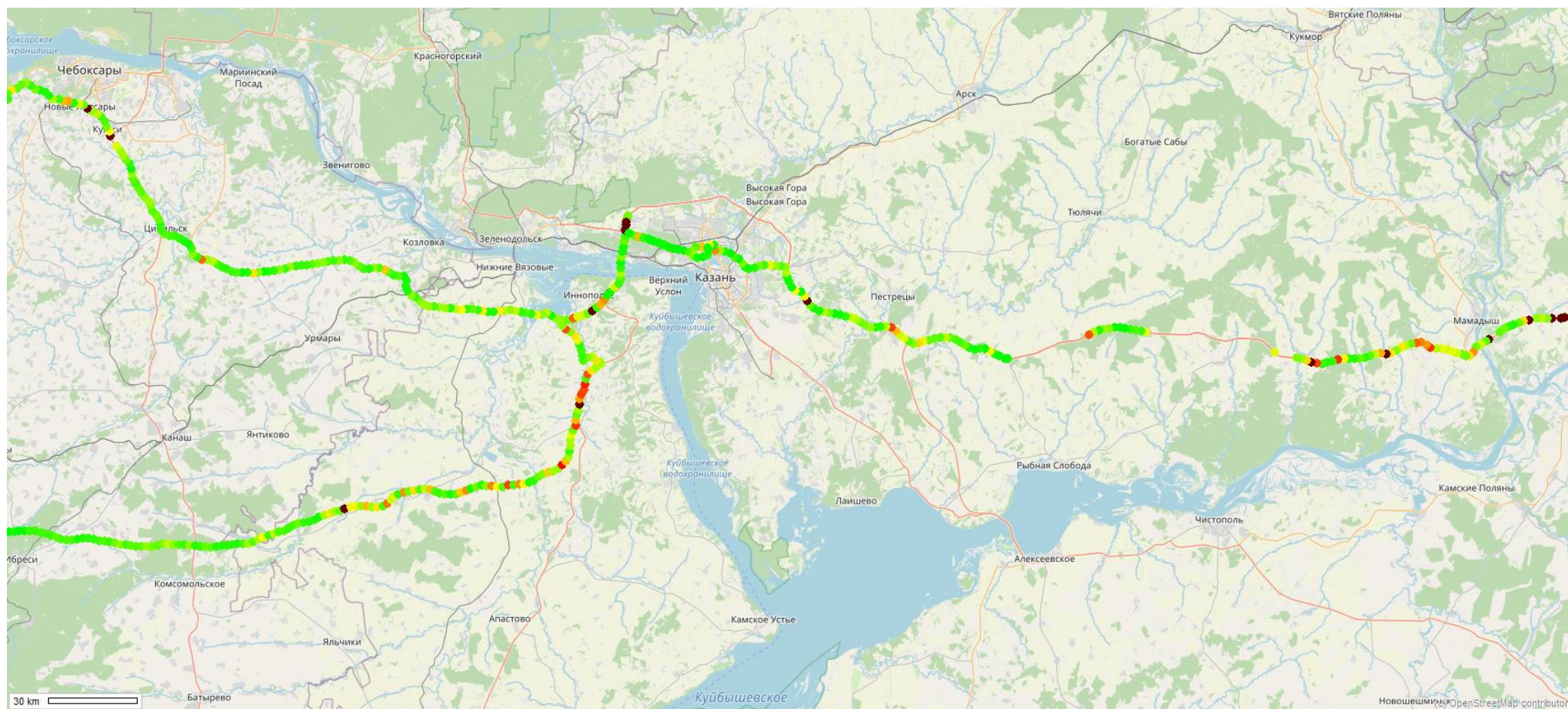


Рисунок 13. Помеховая обстановка. Фрагмент 3

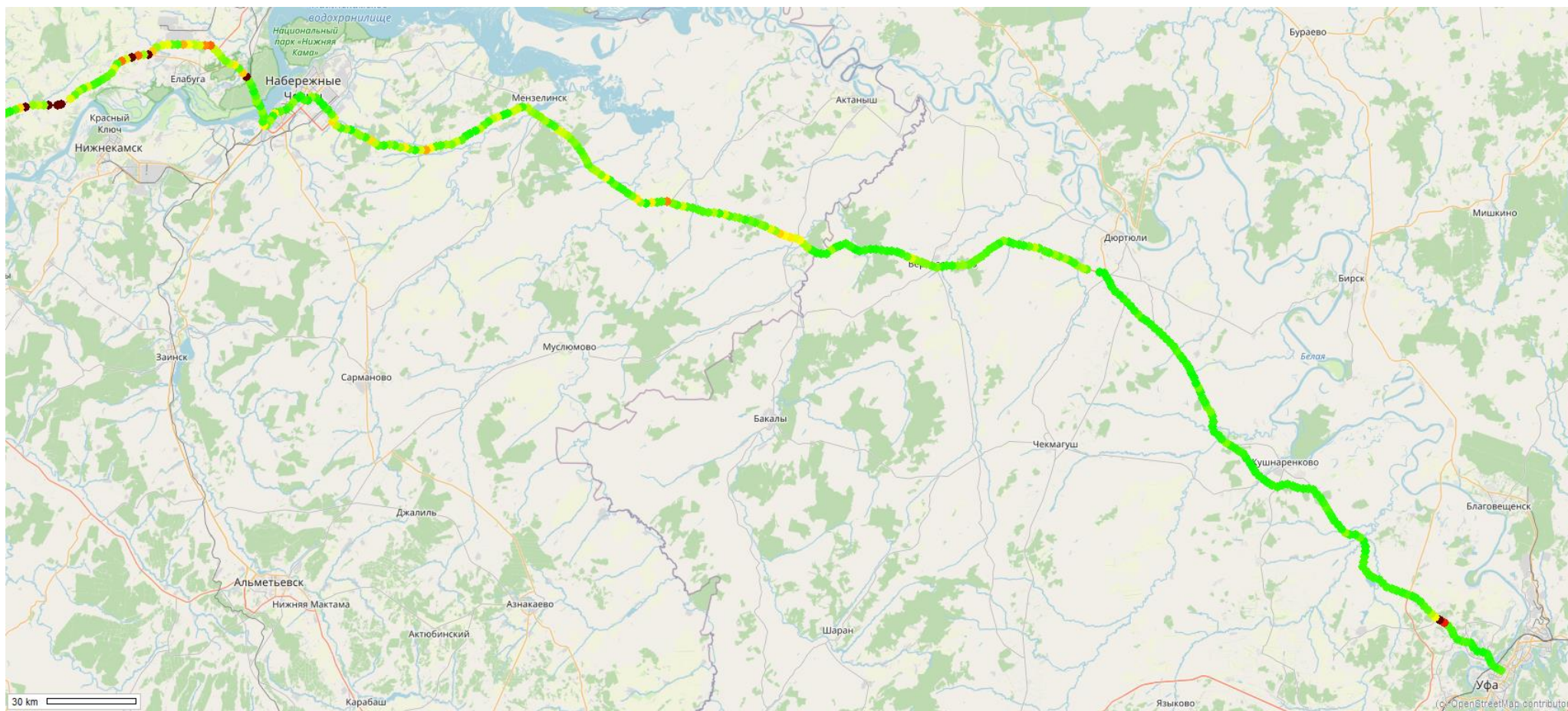


Рисунок 14. Помеховая обстановка. Фрагмент 4

7 ВЫВОДЫ

7.1 Локальные потребительские характеристики ГНСС в условиях загородной трассы оценивались на маршруте Москва-Уфа-Москва. Зафиксированное количество наблюдаемых НКА и их расположение достаточны для уверенной навигации в совмещенном режиме и в большинстве случаев отдельно по каждой из ГНСС GPS, ГЛОНАСС, Beidou, Galileo. При ограничении по углу места в 5° доступность навигация отдельно по каждой из этих ГНСС была не менее 96%.

Доступность навигации в режиме ГЛОНАСС+Beidou – 99.9%.

7.2 Кратковременные перерывы в доступности навигации по сигналам ГНСС в основном вызваны использованием отдельными водителями большегрузных автомобилей подавителей сигналов ГНСС.

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

- GPS 1.6 м.
- ГЛОНАСС 3.7 м
- Beidou 2.0 м
- Galileo 1.4 м
- ГЛОНАСС+Beidou 1.9 м.

Начальник лаборатории отд. 03004
АО «ЦНИИмаш»



В.Л. Лапшин

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

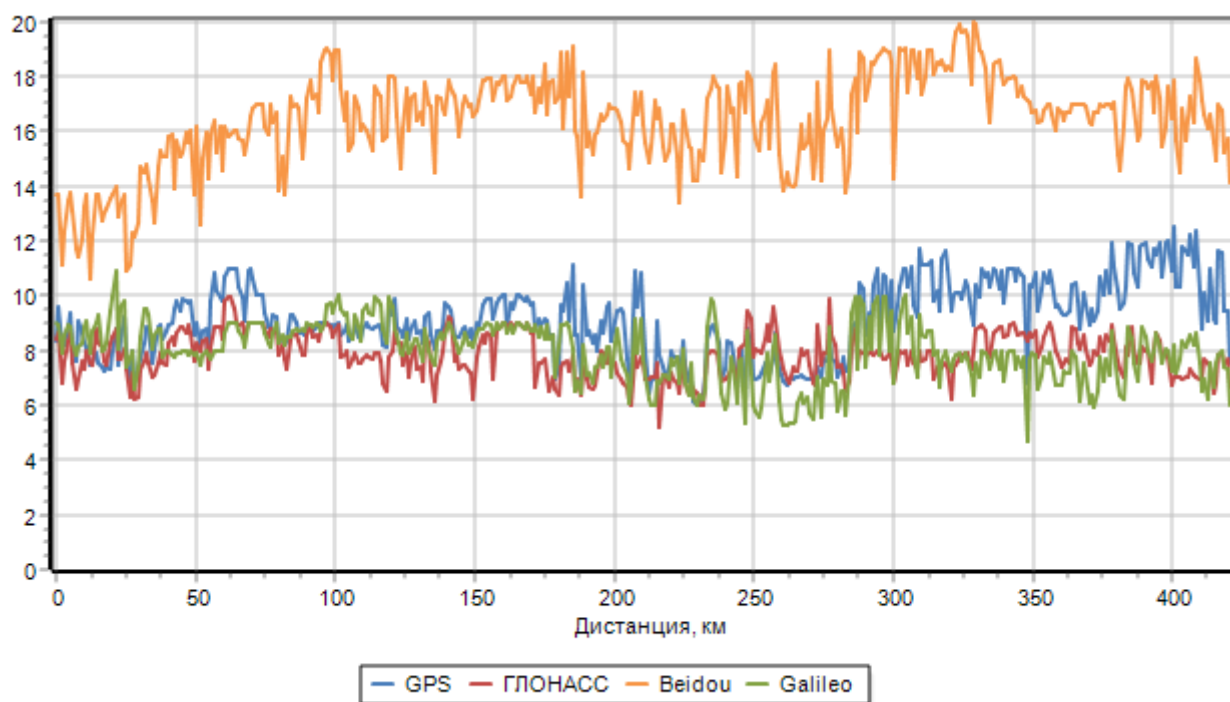


Д.В. Виндерских

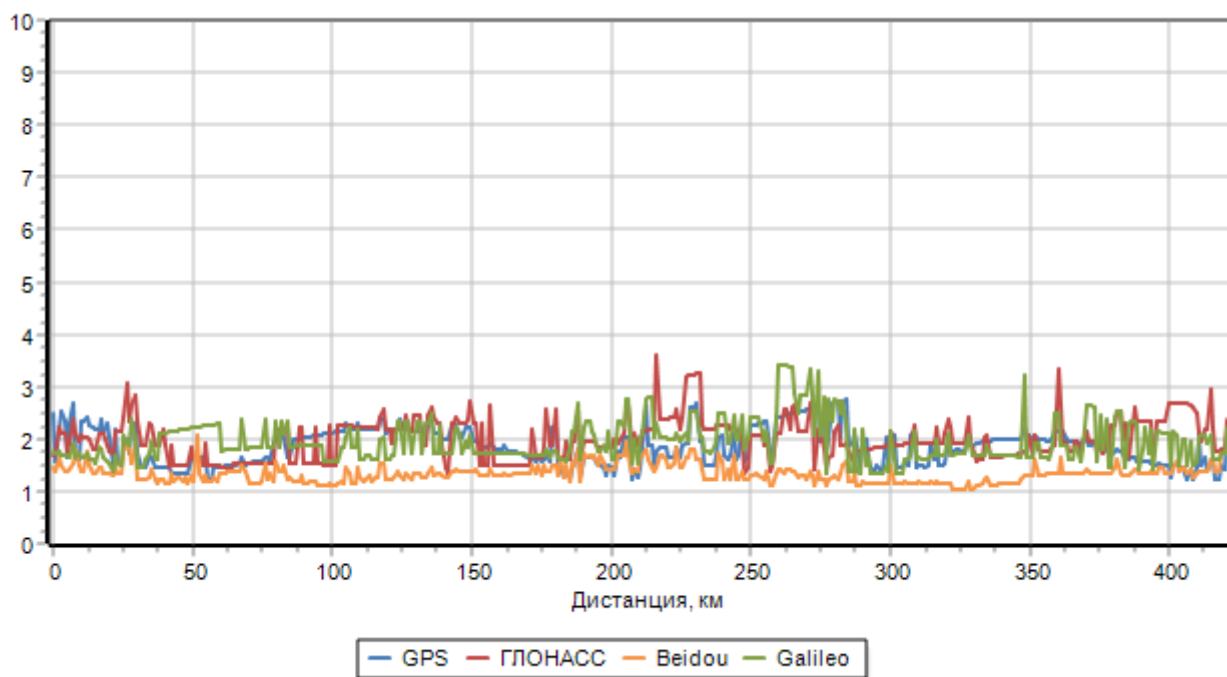
Приложение 1 Графики условий навигации на участках маршрута

Участок 1

Количество видимых НКА²



PDOP³

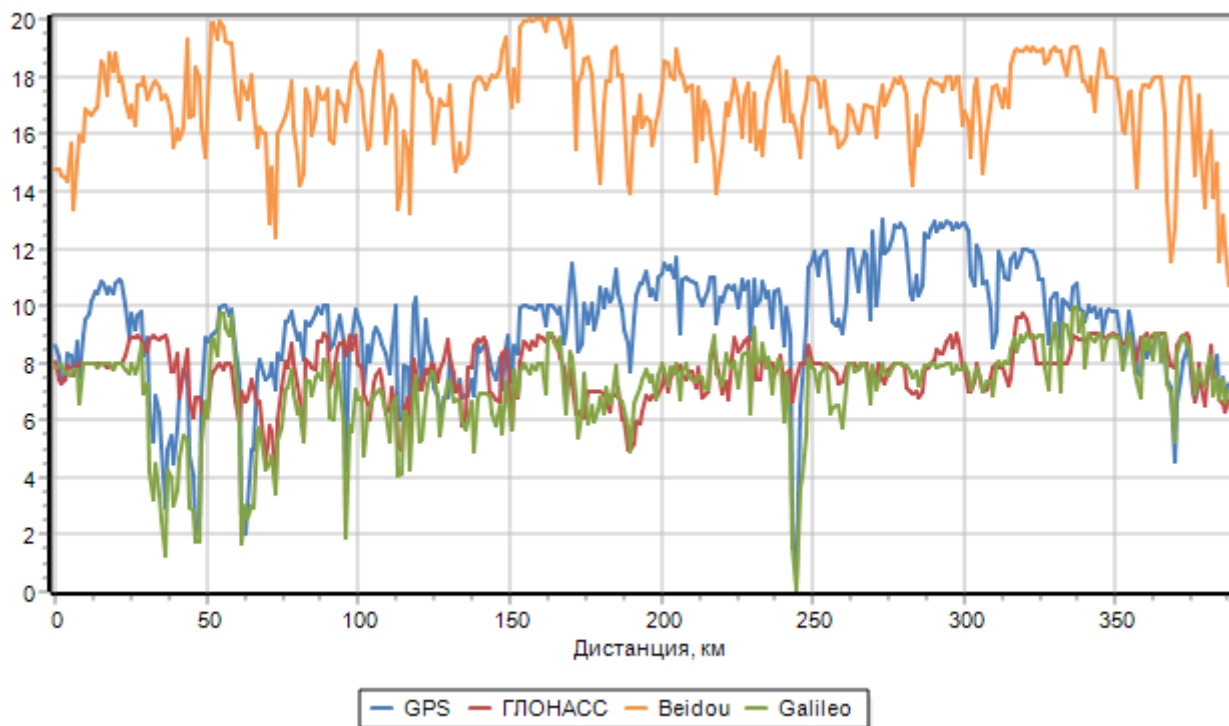


² Количество видимых НКА и PDOP определены для маски углов места 5°. Шаг генерализации (сглаживания) – 1000 м.

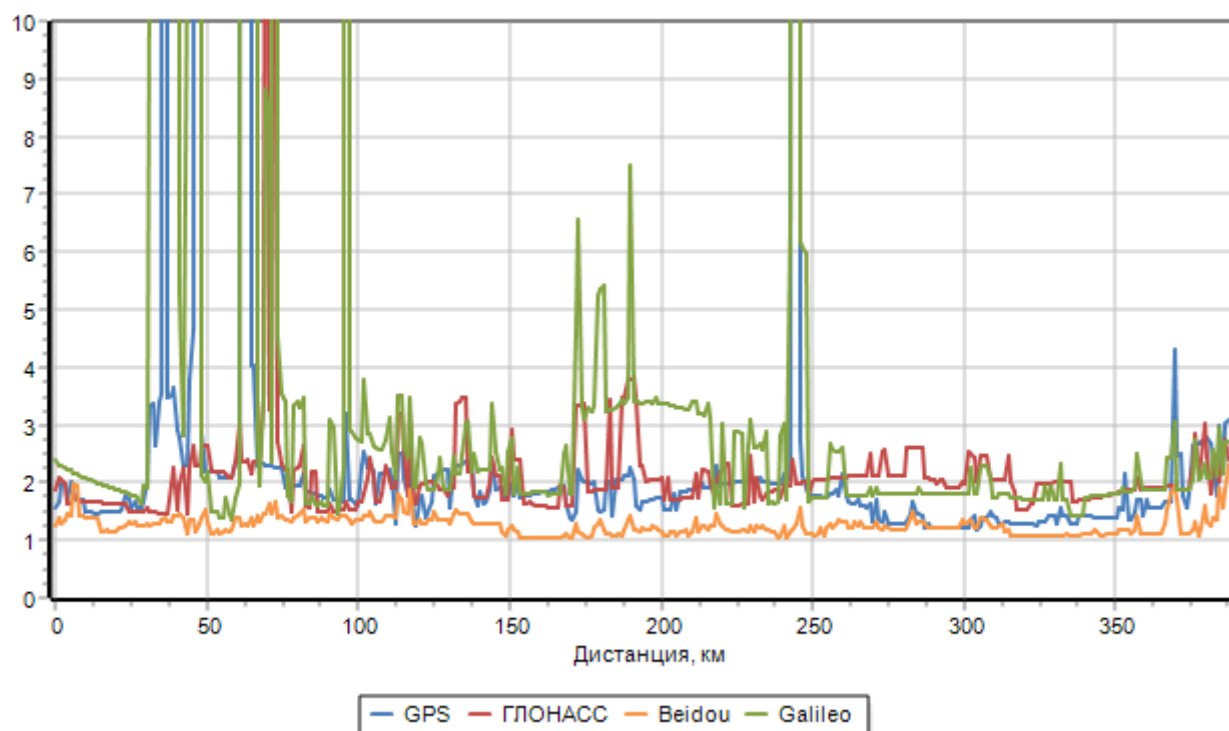
³ На графиках PDOP значения больше 10 не показаны

Участок 2

Количество видимых НКА



PDOP

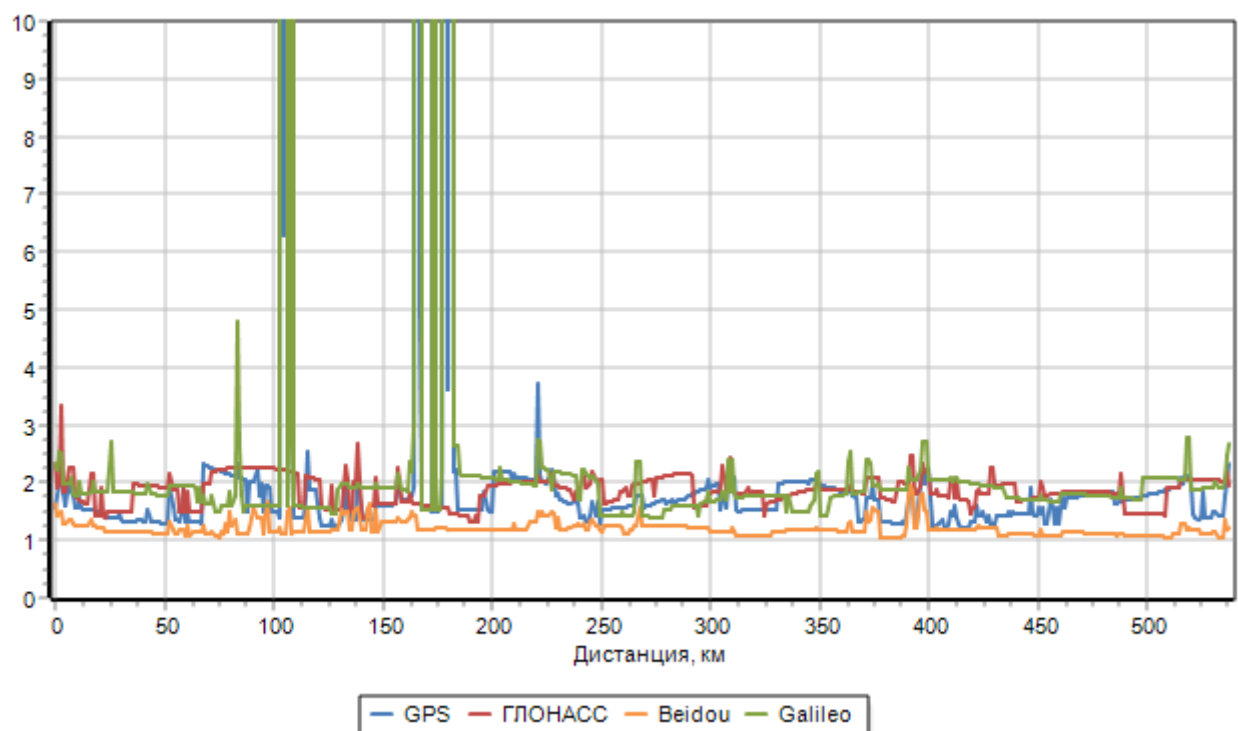


Участок 3

Количество видимых НКА

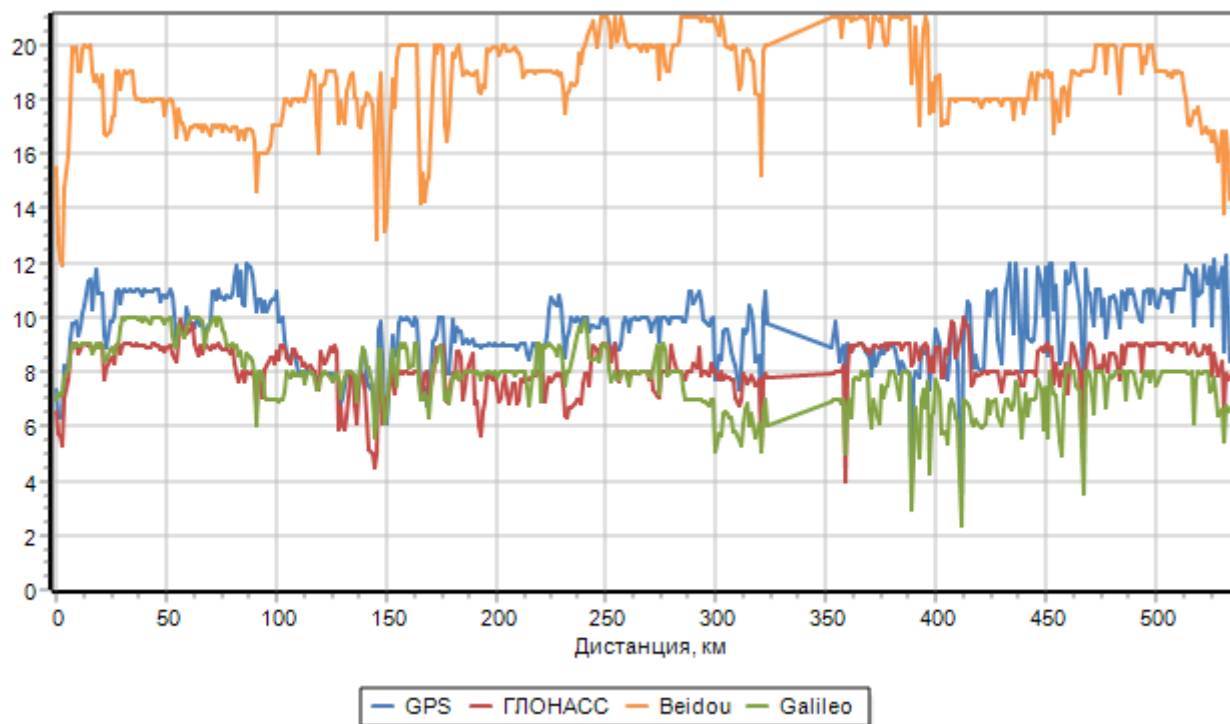


PDOP

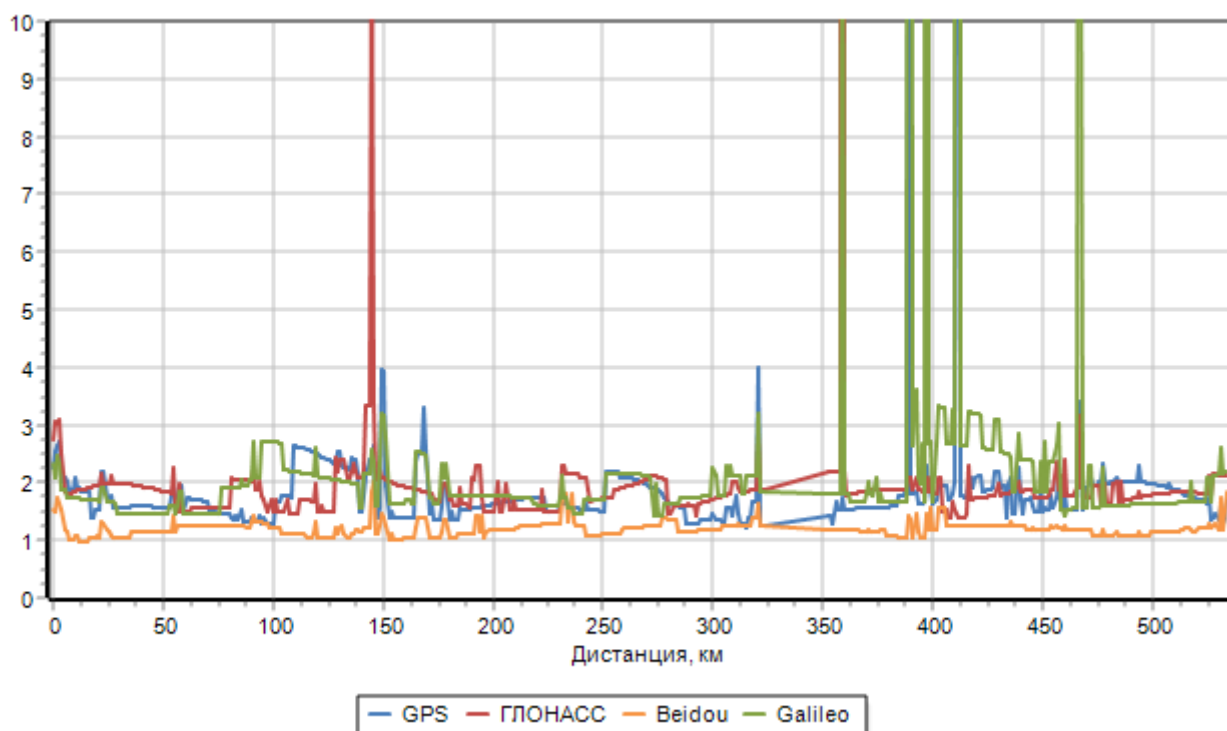


Участок 4

Количество видимых НКА

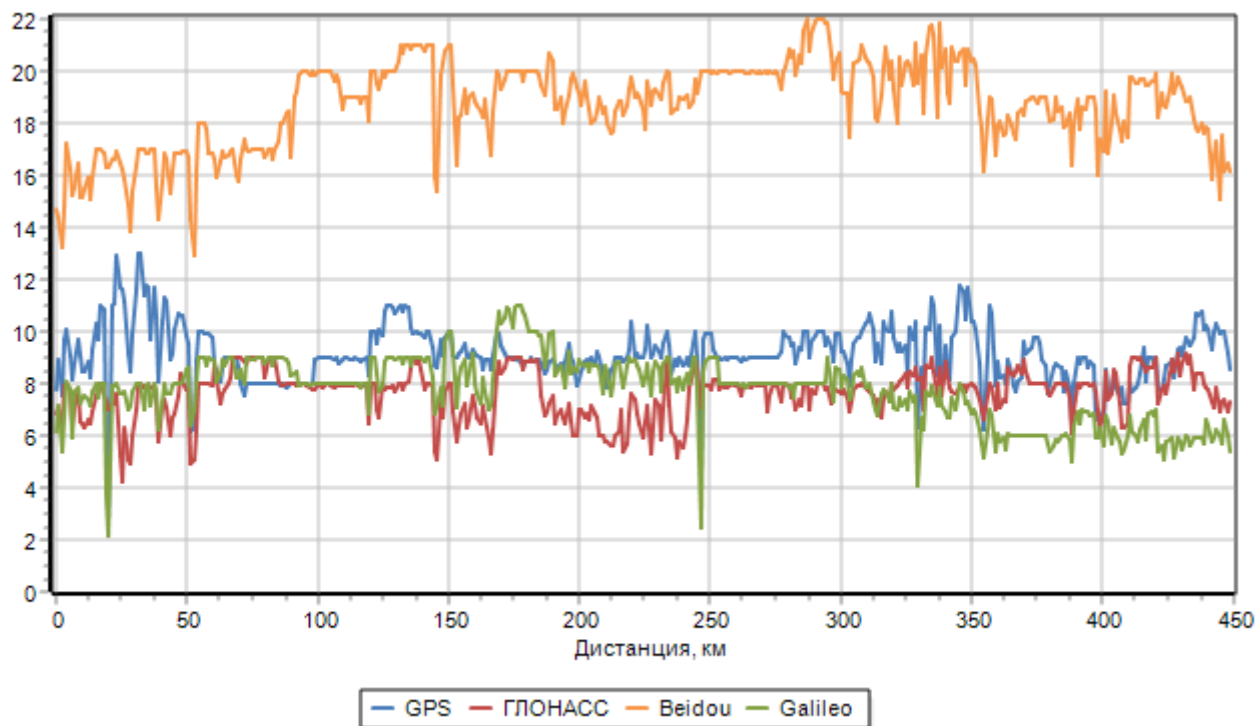


PDOP

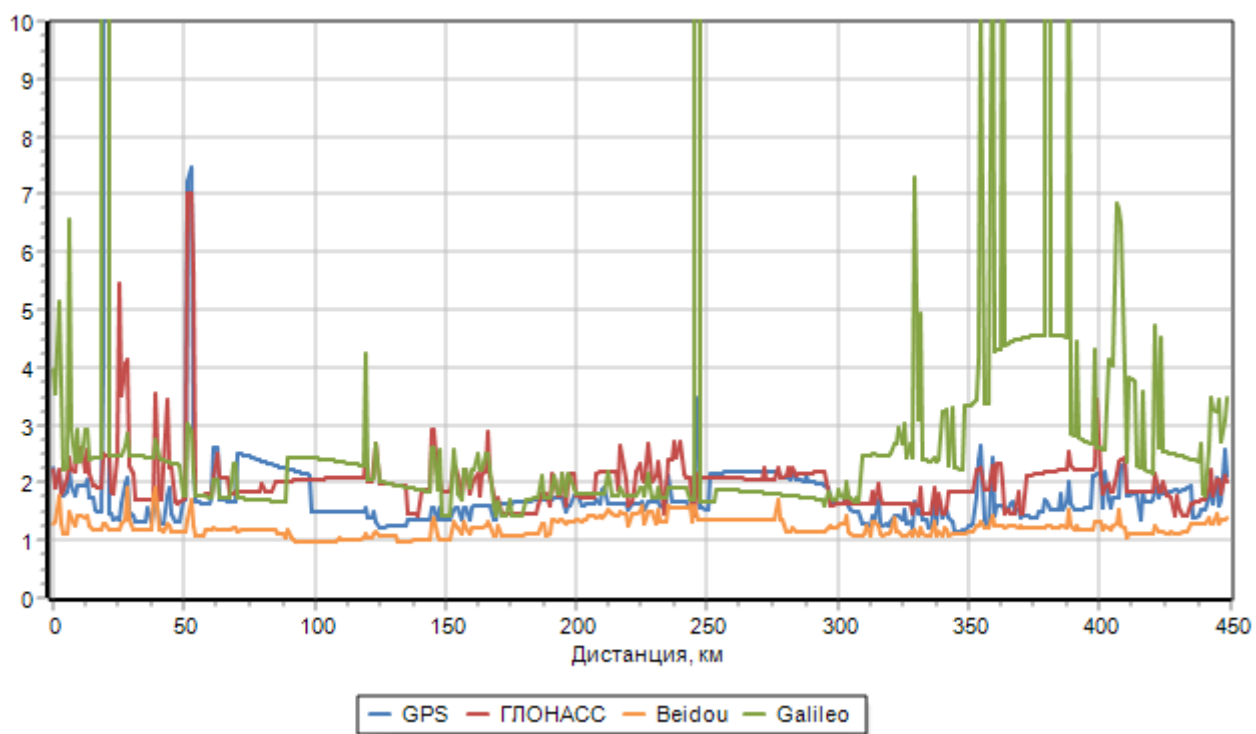


Участок 5

Количество видимых НКА

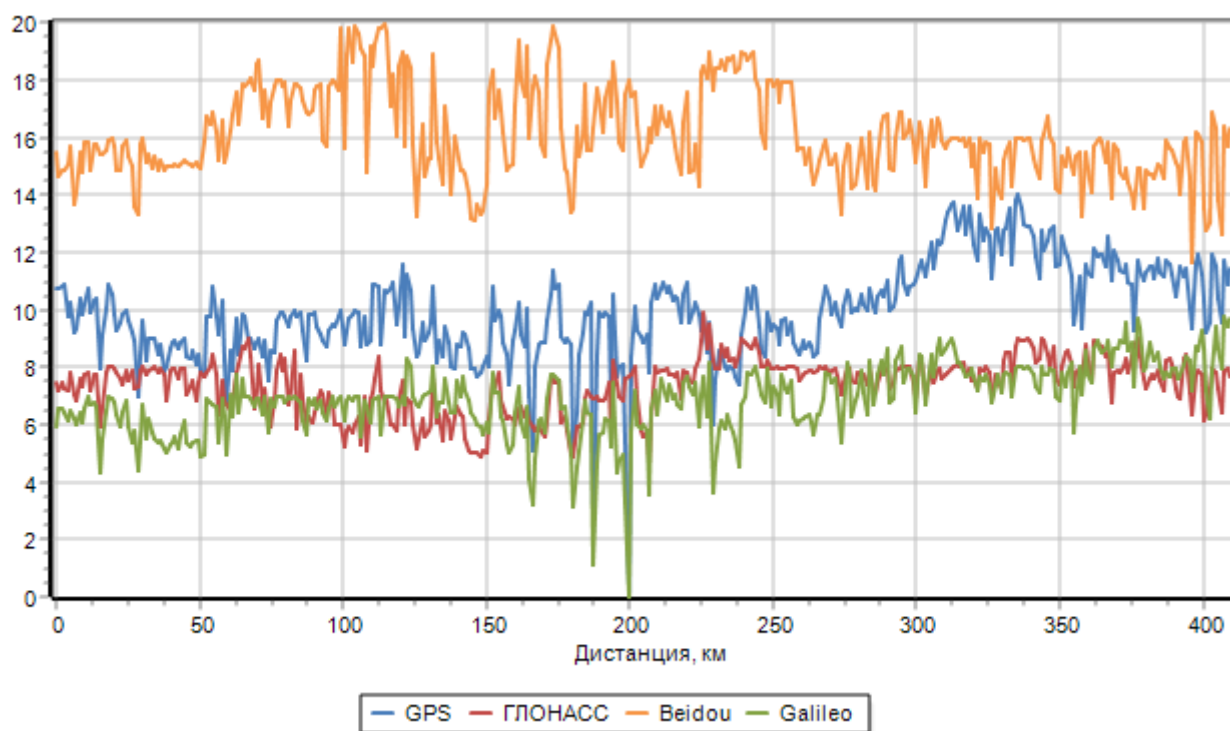


PDOP

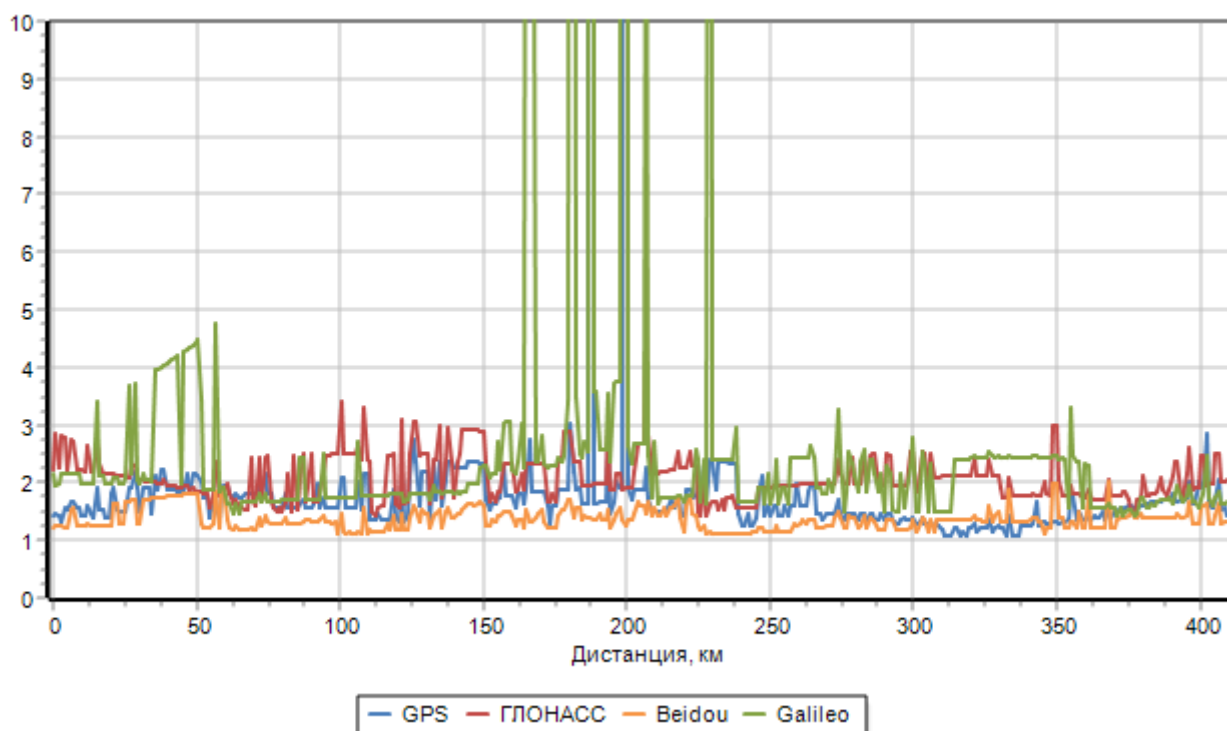


Участок 6

Количество видимых НКА



PDOP



Приложение 2 Расчетные погрешности позиционирования по сигналам ГНСС (треки ПО RTKLIV) на участках маршрута

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	
Участок 1											
GPS	3.3	2.2	2.8	5.0	17.8	2.0	1.3	1.7	2.8	12.7	2 425
ГЛОНАСС	6.5	2.9	4.6	10.3	34.9	4.7	3.2	4.2	7.5	23.2	2 450
Beidou	3.6	2.2	2.9	5.0	20.9	2.0	1.6	1.9	3.2	7.6	2 447
Galileo	3.8	2.1	2.7	4.7	20.6	1.8	1.1	1.3	2.6	7.7	2 429
ГЛОНАСС+Beidou	3.2	1.6	2.4	4.9	18.9	1.9	1.6	1.9	3.2	6.6	2 459
Участок 2											
GPS	4.0	2.2	3.0	5.0	12.3	2.7	0.8	1.0	2.0	7.1	2 114
ГЛОНАСС	14.8	3.9	5.6	12.1	97.1	6.6	2.8	3.7	7.1	38.1	2 212
Beidou	3.8	2.3	3.1	5.8	20.2	1.9	0.8	1.1	2.5	10.0	2 136
Galileo	2.6	1.6	2.1	4.0	18.4	1.6	0.7	0.9	2.0	9.7	2 038
ГЛОНАСС+Beidou	3.6	2.7	3.4	5.7	13.0	1.7	0.9	1.3	3.3	8.8	2 225
Участок 3											
GPS	2.3	1.4	2.0	3.8	12.4	1.9	1.4	1.8	2.7	8.6	2 951
ГЛОНАСС	5.5	3.7	5.2	10.2	22.7	3.5	2.6	3.2	6.1	12.4	2 995
Beidou	2.8	1.1	1.7	3.4	20.7	2.2	1.7	2.3	3.3	11.3	2 970
Galileo	2.1	1.1	1.6	3.1	12.6	1.6	1.3	1.5	2.3	9.0	2 932
ГЛОНАСС+Beidou	2.1	1.1	1.6	3.5	12.5	1.9	1.4	2.0	3.1	7.3	3 002
Участок 4											
GPS	2.5	1.4	2.1	4.6	11.5	1.7	1.2	1.5	2.4	7.7	2 609
ГЛОНАСС	6.8	4.0	5.9	11.2	36.5	3.8	2.4	3.3	6.7	16.5	2 645
Beidou	2.7	2.0	2.6	4.1	13.8	2.2	1.9	2.2	3.0	9.5	2 628
Galileo	17.7	1.2	1.7	3.3	25.9	7.1	1.1	1.4	2.4	14.7	2 563
ГЛОНАСС+Beidou	2.9	1.8	2.5	4.3	15.8	2.1	1.8	2.1	3.0	8.5	2 656

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	
Участок 5											
GPS	5.1	4.4	5.9	8.1	17.9	2.1	1.6	1.9	3.0	8.5	2 186
ГЛОНАСС	9.2	6.0	9.3	17.0	30.9	5.5	3.9	4.9	7.9	34.4	2 175
Beidou	4.2	3.8	4.6	6.2	17.0	2.6	1.9	2.3	3.5	9.3	2 195
Galileo	7.5	3.2	4.2	7.2	75.6	3.7	1.6	2.1	5.7	30.9	2 164
ГЛОНАСС+Beidou	4.1	3.4	4.2	6.6	13.8	2.3	1.7	2.2	3.8	9.2	2 190
Участок 6											
GPS	2.8	1.5	2.5	5.0	13.7	1.4	0.8	1.1	2.4	8.3	2 312
ГЛОНАСС	6.3	2.4	3.5	8.9	48.5	4.8	2.6	3.4	6.2	32.2	2 270
Beidou	4.1	2.2	3.8	7.8	15.5	1.6	1.1	1.4	2.9	6.8	2 315
Galileo	8.1	1.4	2.1	4.5	93.0	3.8	1.0	1.3	3.8	38.7	2 175
ГЛОНАСС+Beidou	3.4	1.8	3.0	6.4	16.1	1.6	1.1	1.5	2.7	6.7	2 325