



Дата: 20.09.2018

ПРОТОКОЛ № 3/2018
проведения испытаний с использованием
Мобильной измерительно-диагностической лаборатории (МИДЛ)

1	Цель испытаний	3
2	Время и место проведения испытаний	3
3	Средства проведения испытаний	5
4	Испытываемые образцы НАП	5
5	Определяемые показатели	6
6	Режимы испытаний.....	6
7	Последовательность испытаний.....	8
8	Результаты испытаний	8
8.1	Потребительские характеристики условий навигации по сигналам ГНСС	8
8.2	Точность позиционирования НАП по сигналам ГНСС.....	11
8.2.2	НАП SigmaQM.....	11
8.2.3	НАП Sigma-G3T	12
8.2.4	НАП M300.....	13
8.3.2	НАП МНП-М9.1	14
8.3.3	НАП NV08C-RTK	16
8.3.4	НАП NV08C-СДКМ.....	17
8.4	Работоспособность и эффективность СДКМ	18
8.5	Покрываемость маршрута эксперимента сотовой связью	20
9	Выводы	22
9.1	Выводы по условиям спутниковой навигации	22
9.2	Выводы по результатам испытаний НАП в абсолютном режиме	22
9.3	Выводы по результатам оценки СДКМ	22
9.4	Выводы по результатам проверки покрытия сотовой связью	23
Приложение 1.	Графики условий навигации на участках маршрута	24
Приложение 2.	Характеристики точности позиционирования НАП SigmaQM.....	35
Приложение 3.	Характеристики точности позиционирования НАП Sigma-G3T	36
Приложение 4.	Характеристики точности позиционирования НАП M300.....	37
Приложение 5.	Характеристики точности позиционирования НАП МНП-М9.1	38
Приложение 6.	Характеристики точности позиционирования НАП NV08C-RTK	39
Приложение 7.	Характеристики точности позиционирования НАП NV08C-СДКМ.....	40
Приложение 8.	Обеспечение сотовой связью на участках транспортного коридора.....	41

1 ЦЕЛЬ ИСПЫТАНИЙ

1.1 Оценка локальных потребительских характеристик глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) - ГЛОНАСС, GPS BeiDou, GALILEO, контроль условий приема навигационных сигналов вдоль трассы эксперимента.

1.2 Оценка качества навигационного обеспечения в транспортном коридоре в части покрытия сотовой связью для реализации высокоточных методов спутниковой навигации (DGPS, RTK, PPP), а также организации систем мониторинга транспорта и грузов.

1.3 Проверка работоспособности и эффективности российской широкозонной системы дифференциальной коррекции и мониторинга (СДКМ, функциональное дополнение ГНСС).

1.4 Испытания образцов НАП в реальных условиях эксплуатации, сравнение точности навигационных определений в различных режимах работы.

1.5 Тип испытаний – плановый рейд по свободному маршруту.

2 ВРЕМЯ И МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

2.1 Испытания проводились в рамках совместного российско-китайского эксперимента по мониторингу и оценке характеристик ГНСС на западных маршрутах экономического пояса «Шелкового пути» (в соответствии с Планом мероприятий рабочих групп в рамках российско-китайского Комитета проектов по стратегическому сотрудничеству в области спутниковой навигации).

2.2 Даты проведения испытаний российской стороной - с 10.09.2018 по 18.09.2018.

2.3 Место проведения испытаний:

маршрут в прямом направлении: Москва – Тверь – Великий Новгород - Санкт-Петербург – Выборг (протяженность - 860 км).

маршрут в обратном направлении: Выборг – Санкт-Петербург – Псков – Волоколамск - Москва (протяженность - 1150 км).

Общая протяженность – 2010 км.

2.4 Маршрут эксперимента с разбивкой на участки показан на рисунке 1.



Рисунок 1 Маршрут проведения испытаний с разбивкой на участки



Рисунок 2 МИДЛ в г. Выборг

3 СРЕДСТВА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

3.1 Лаборатория мобильная измерительно-диагностическая (МИДЛ), заводской номер 01, свидетельство об утверждении типа средств измерений RU.E.27.018.A № 43388, свидетельство о поверке № 8/832-09007-17 (действительно до 20 сентября 2018 г.).

3.2 3G SMART терминал Cinterion® EHS6T USB.

3.3 Испытания проводились Лабораторией развития прикладных потребительских центров отдела 3041 Информационно-аналитического центра координатно-временного обеспечения ФГУП ЦНИИмаш (ИАЦ КВНО).

Контактная информация:





ИАЦ КВНО ФГУП ЦНИИмаш



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

Телефон: (495) 513-58-33, факс (495) 513-40-38

E-mail: midl@glonass-iac.ru

4 ИСПЫТЫВАЕМЫЕ ОБРАЗЦЫ НАП

<p>Навигационный приемник SigmaQM (Javad GNSS), f/w 3.7.1 Apr,04,2017, board TRE_QUA_3, далее – SigmaQM</p>	
<p>Навигационный приемник Sigma-G3T (Javad GNSS), f/w 3.5.5 Mar,03,2014, board TRE_G3TH_5, далее – Sigma-G3T</p>	
<p>Навигационный приемник M300 MINI, далее – M300. Версия: GPSCARD "S32030K705" "0440000800000000" "CRDK-705AA-TTT-0" "362TZ-2.070-1" "5.200" "2018/May/ 2" "19:27:32" Предоставлен китайской стороной</p>	
<p>Навигационный приемник NV08C-RTK (АО «КБ Навис», г. Москва), версия ПО - NVS RTK 0029 CSM24 P314, далее - NV08C-RTK. Предоставлен ООО «НВС Навигационные технологии»</p>	

<p>Навигационный приемник NV08C-RTK (АО «КБ Навис», г. Москва) с активированной функцией СДКМ, версия ПО - NVS RTK PR28 CSM24 P314, далее - NV08C-СДКМ. Предоставлен ООО «НВС Навигационные технологии»</p>	
<p>Навигационный приемник МНП-М9.1, ЦВИЯ.468157.215 в составе отладочного средства ЦВИЯ.468219.015 (ООО «ИРЗ-Связь», г. Ижевск), прошивка 3.5 build 1131, далее - МНП-М9.1 . Предоставлен ООО «ИРЗ-Связь»</p>	

5 ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ

5.1 Потребительские характеристики ГНСС GPS, ГЛОНАСС, BEIDOU, GALILEO:

- количество видимых навигационных космических аппаратов (НКА) каждой ГНСС при угле места не менее 5°;
- геометрический фактор точности определения местоположения потребителя ГНСС в пространстве (PDOP) для каждой ГНСС при угле места не менее 5°.

5.2 Характеристики погрешности определения местоположения НАП по сигналам различных ГНСС и СДКМ: по высоте и в плане – среднеквадратическая погрешность (СКП), предельная погрешность по уровню вероятности 0.5, 0.95, 0.997.

5.3 Мощность сигнала базовых станций сети сотовой связи в режимах GSM, GPRS, 3G вдоль исследуемых участков транспортного коридора.

6 РЕЖИМЫ ИСПЫТАНИЙ

6.1 Испытываемые образцы НАП на участках маршрута циклически переключались в режимы местоопределений по сигналам с использованием различных комбинаций спутниковых систем ГЛОНАСС, BeiDou, GPS и СДКМ.

6.2 Режимы работы НАП на участках маршрута приведены в таблице 1.

Таблица 1. Режимы работы НАП на участках маршрута

Участок	НАП					
	SigmaQM	Sigma-G3T	M300	МНП-М9.1	NV08C-RTK	NV08C-СДКМ
1.	GPS+ГЛО+BDS	GPS+ГЛО	GPS+ГЛО+BDS	GPS+ГЛО+BDS	GPS+ГЛО	GPS+ГЛО+СДКМ
2.	ГЛО+BDS	GPS+ГЛО+СДКМ	ГЛО+BDS	ГЛО+BDS	GPS	GPS+СДКМ
3.	ГЛО	GPS+ГЛО	ГЛО	ГЛО	ГЛО	ГЛО+СДКМ
4.	BDS	GPS+ГЛО+СДКМ	BDS	BDS	GPS+ГЛО	GPS+ГЛО+СДКМ
5.	GPS+ГЛО+BDS	GPS+ГЛО	GPS+ГЛО+BDS	GPS+ГЛО+BDS	GPS	GPS+СДКМ
6.	ГЛО+BDS	GPS+ГЛО+СДКМ	ГЛО+BDS	ГЛО+BDS	ГЛО	ГЛО+СДКМ
7.	ГЛО	GPS+ГЛО	ГЛО	ГЛО	GPS+ГЛО	GPS+ГЛО+СДКМ
8.	BDS	GPS+ГЛО+СДКМ	BDS	BDS	GPS	GPS+СДКМ
9.	GPS+ГЛО+BDS	GPS+ГЛО	GPS+ГЛО+BDS	GPS+ГЛО+BDS	ГЛО	ГЛО+СДКМ
10.	ГЛО+BDS	GPS+ГЛО+СДКМ	ГЛО+BDS	ГЛО+BDS	GPS+ГЛО	GPS+ГЛО+СДКМ
11.	ГЛО	GPS+ГЛО	ГЛО	ГЛО	GPS	GPS+СДКМ

6.3 Все НАП были подключены к одной навигационной антенне через сплиттер. Антенна была установлена на антенной площадке на крыше МИДЛ.

6.4 Режимы работы НАП Sigma менялись с помощью программы NetView производителя НАП (вкладка Параметры/Positioning, группа Positions Systems).

6.5 Режимы работы НАП М300 менялись с помощью программы Compass Receiver Utility (CRU) производителя НАП.

7 ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ИСПЫТАНИЙ

7.1 Перемещение МИДЛ по маршруту испытаний с регистрацией:

- первичных навигационных параметров с использованием контрольных навигационных приемников,
- данных местоопределений всех испытываемых НАП в формате NMEA,
- данных мониторинга станций сотовой сети от 3G терминала.

7.2 Расчет локальных потребительских характеристик ГНСС на заданных трассах.

7.3 Расчет контрольных траекторий.

7.4 Расчет характеристик погрешности определения местоположения НАП в различных режимах, оценка эффективности СДКМ.

7.5 Расчет характеристик зон покрытия сотовой связью в режимах GSM, GPRS, 3G исследуемых участков транспортного коридора.

8 РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

8.1 Потребительские характеристики условий навигации по сигналам ГНСС

8.1.1 В качестве характеристик условий навигации по сигналам ГНСС приняты количество видимых НКА ГНСС ГЛОНАСС/GPS/BEIDOU/GALILEO и PDOP для каждой из систем и комбинации ГЛОНАСС+BEIDOU. Обе характеристики определялись при ограничении угла места не менее 5°. Оценка характеристик проводилась по показаниям НАП SigmaQM. Графики указанных характеристик для участков маршрута приведены в приложении (Приложение 1).

8.1.2 При расчете характеристик условий навигации с участием BEIDOU учитывались в том числе НКА BEIDOU, не имеющие признака возможности использования по целевому назначению (в основном это – НКА BEIDOU-3).

8.1.3 В качестве интегральных характеристик условий навигации приняты среднее количество видимых НКА ГНСС ГЛОНАСС/GPS/BEIDOU/GALILEO, медианное значение PDOP, доля отсчетов, в которых значение PDOP не превышало 6. Указанные интегральные характеристики для участков маршрута и в целом по маршруту приведены в таблице 2.

Таблица 2. Характеристики условий навигации на участках маршрута

Участок	Среднее кол-во видимых НКА					Медиана PDOP					Доля отсчетов с PDOP<6				
	GPS	ГЛОНАСС	BeiDou	Galileo	ГЛОНАСС +BeiDou	GPS	ГЛОНАСС	BeiDou	Galileo	ГЛОНАСС +BeiDou	GPS	ГЛОНАСС	BeiDou	Galileo	ГЛОНАСС +BeiDou
1	10.8	8.1	9.3	5.5	17.5	1.5	2.1	2.3	3.0	1.3	100%	100%	99%	82%	100%
2	10.1	8.8	8.6	7.0	17.4	1.6	1.8	2.0	2.2	1.2	100%	99%	99%	99%	100%
3	9.7	8.4	7.7	5.7	16.0	1.6	1.9	2.1	3.0	1.3	100%	100%	97%	93%	100%
4	11.4	7.9	4.4	2.5	12.4	1.6	1.8	5.4	н/д	1.3	100%	99%	48%	0%	100%
5	9.7	7.4	8.4	4.7	15.9	1.7	2.2	3.1	4.3	1.4	100%	99%	90%	70%	100%
6	10.3	8.0	8.8	5.0	16.8	1.6	2.0	2.6	2.9	1.3	99%	99%	94%	77%	100%
7	9.0	7.8	6.9	4.4	14.8	1.9	2.2	2.9	4.1	1.5	98%	95%	75%	63%	100%
8	8.6	8.1	9.1	4.8	17.2	1.9	2.0	2.1	4.3	1.3	97%	99%	99%	60%	100%
9	10.1	7.7	8.9	5.1	16.6	1.5	2.0	1.8	3.2	1.2	100%	98%	100%	86%	100%
10	8.6	8.6	8.1	5.2	16.6	1.9	1.9	2.2	3.1	1.3	100%	100%	97%	80%	100%
11	10.3	8.2	8.9	4.8	17.1	1.6	1.9	1.7	2.7	1.2	100%	98%	99%	82%	100%
Итого	9.9	8.1	8.1	5.0	16.2	1.6	2.0	2.2	3.1	1.3	99%	99%	90%	75%	100%

8.1.3.1 Диаграммы, иллюстрирующие условия навигации по ГЛОНАСС и BEIDOU показаны на рисунках 3-5.

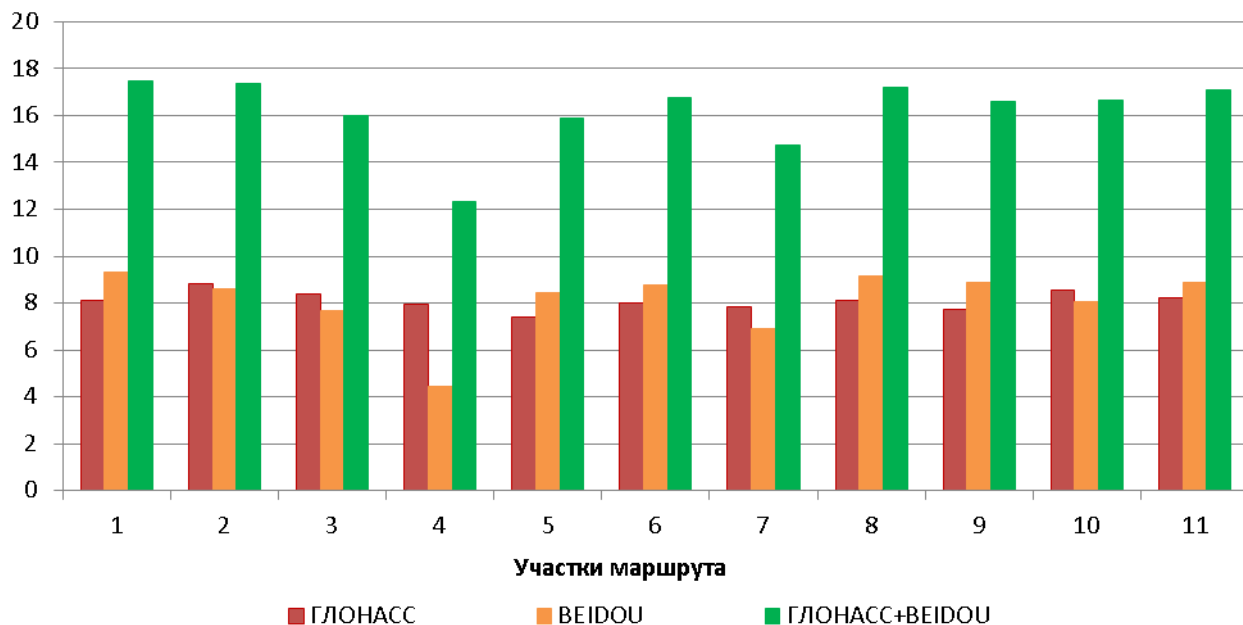


Рисунок 3 Среднее количество видимых НКА ГЛОНАСС и BEIDOU на участках маршрута

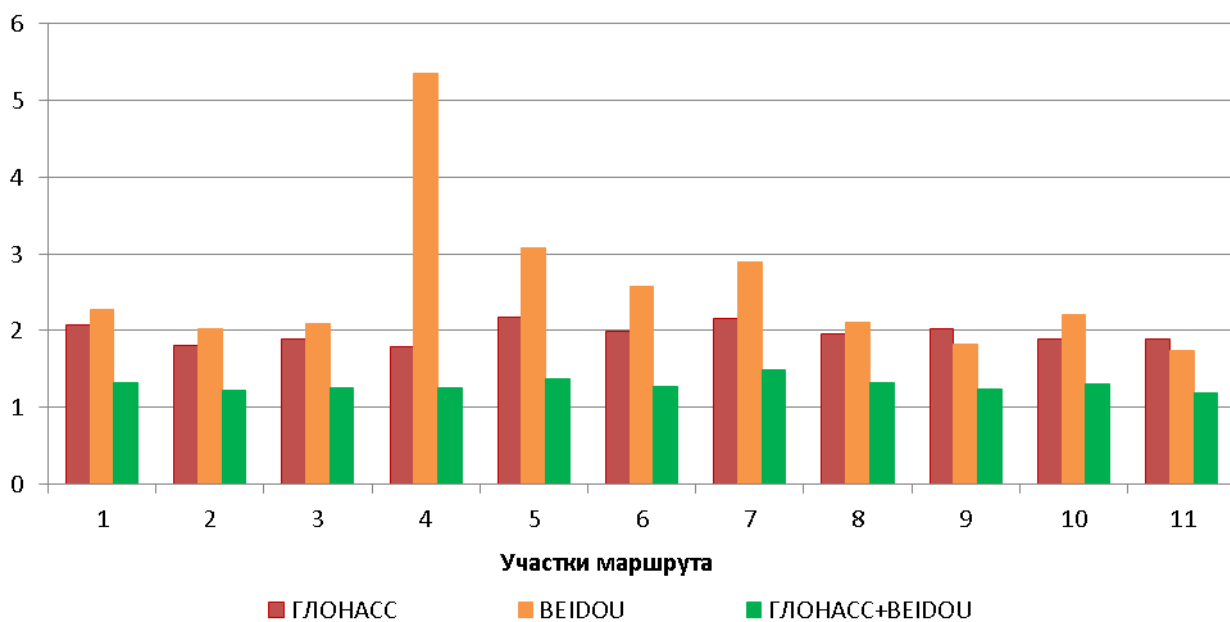


Рисунок 4 Медианное значение PDOP для ГЛОНАСС и BEIDOU на участках маршрута

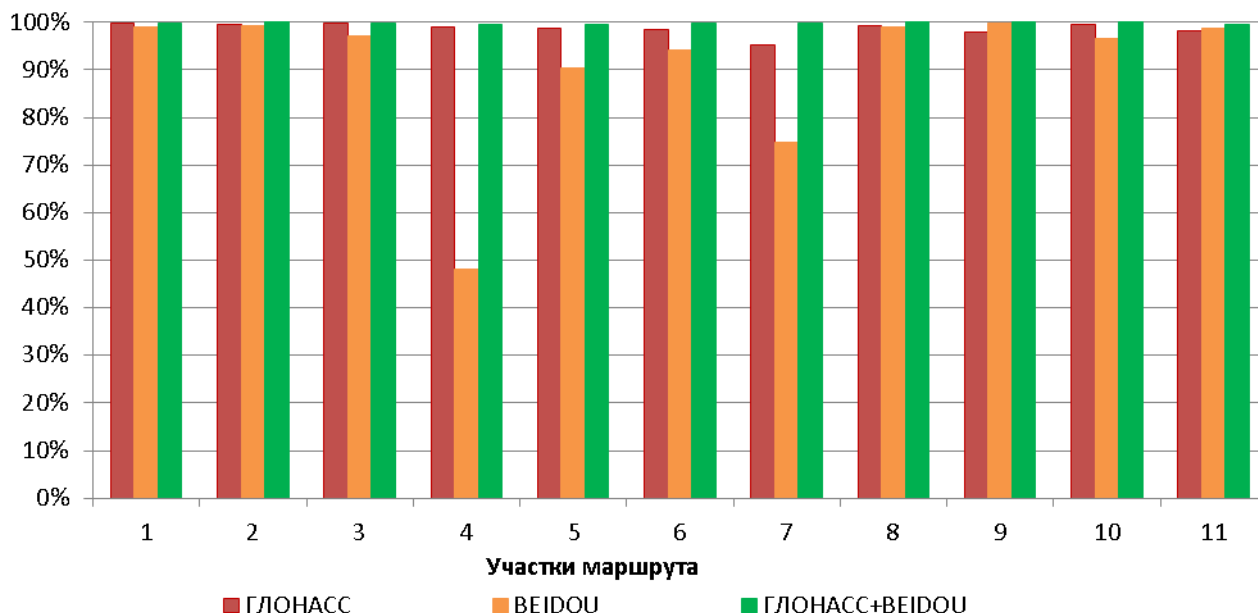


Рисунок 5 Доля отсчетов с PDOP<6 для ГЛОНАСС и BEIDOU на участках маршрута

8.2 Точность позиционирования НАП по сигналам ГНСС

8.2.1 Оценка точности позиционирования НАП проводилась путем сравнения показаний испытываемых образцов НАП с контрольной траекторией, построенной при постобработке первичных навигационных данных, полученных от многочастотных НАП, методом относительной привязки.

8.2.2 НАП SigmaQM

8.2.2.1 Детальные количественные характеристики точности позиционирования НАП SigmaQM на участках маршрута эксперимента по сигналам различных ГНСС и в различных режимах работы приведены в приложении (Приложение 2).

8.2.2.2 Итоговые характеристики точности позиционирования НАП SigmaQM в различных режимах работы приведены в таблице 3 и в виде диаграммы на рисунке 6.

Таблица 3. Итоговые предельные погрешности позиционирования НАП SigmaQM (p=0.95)

Режим	В плане, м	По высоте, м
GPS+ГЛОНАСС+BeiDou	2.60	3.69
ГЛОНАСС+BeiDou	3.85	7.88
ГЛОНАСС	9.73	19.08
BeiDou	5.47	9.07

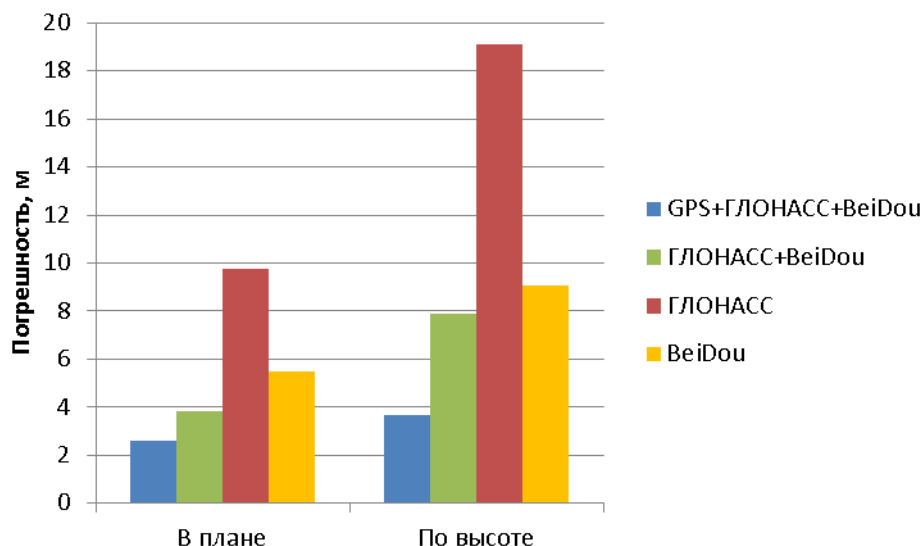


Рисунок 6 Итоговые предельные погрешности позиционирования SigmaQM (p=0.95)

8.2.3 НАП Sigma-G3T

8.2.3.1 Детальные количественные характеристики точности позиционирования НАП Sigma-G3T на участках маршрута эксперимента по сигналам различных ГНСС и в различных режимах работы приведены в приложении (Приложение 3).

8.2.3.2 Итоговые характеристики точности позиционирования НАП Sigma в различных режимах работы приведены в таблице 4 и в виде диаграмм на рисунке 7.

Таблица 4. Итоговые предельные погрешности позиционирования НАП Sigma-G3T (p=0.95)

Режим	В плане, м	По высоте, м
GPS+ГЛОНАСС	2.82	5.63
GPS+ГЛОНАСС+СДКМ	1.51	3.23

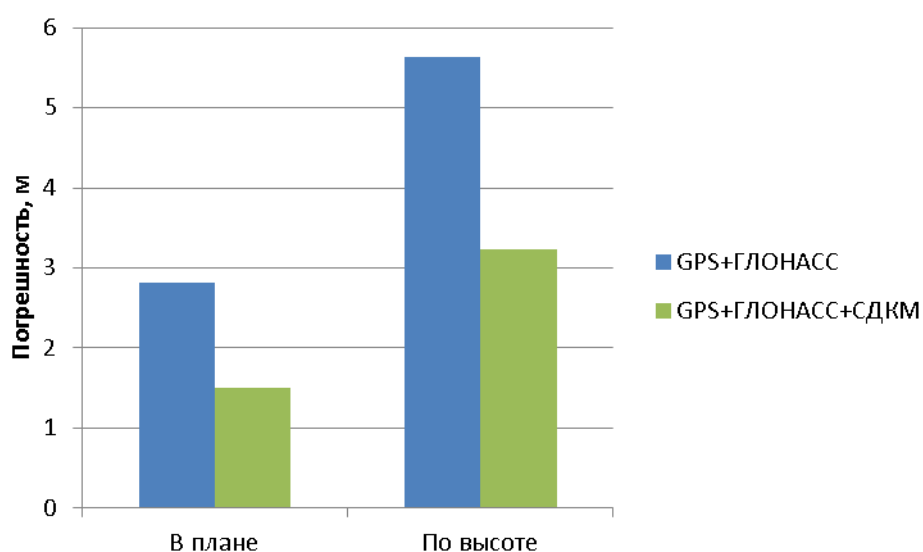


Рисунок 7 Итоговые предельные погрешности позиционирования Sigma (p=0.95)

8.2.4 НАП М300

8.2.4.1 Детальные количественные характеристики точности позиционирования НАП М300 на участках маршрута эксперимента по сигналам различных ГНСС и в различных режимах работы приведены в приложении (Приложение 4).

8.2.4.2 Итоговые характеристики точности позиционирования НАП М300 в различных режимах работы приведены в таблице 5 и в виде диаграммы на рисунке 8.

Таблица 5. Итоговые предельные погрешности позиционирования НАП М300 ($p=0.95$)

Режим	В плане, м	По высоте, м
GPS+ГЛОНАСС+BeiDou	3.22	6.60
ГЛОНАСС+BeiDou	4.01	8.04
ГЛОНАСС	5.73	17.72
BeiDou	10.62	12.88

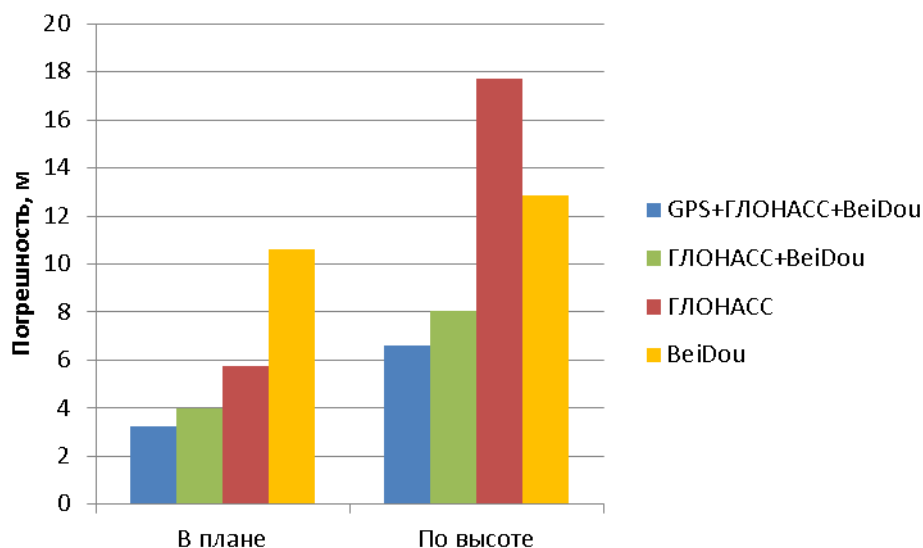


Рисунок 8 Итоговые предельные погрешности позиционирования М300 ($p=0.95$)

8.2.4.3 При работе в режиме ГЛОНАСС в показаниях НАП отмечены существенные сдвиги части показаний по времени – длительностью от 11 до 37 минут. Величина сдвига: 50-100 с. При расчете итоговых показателей эти участки были исключены.

8.3 Настройка режимов работы М300 выполнялась через диалог «Receiver work mode» программы CRU. В качестве общих для испытаний установок были использованы команды:

```
unlogall
unlockoutall
set appscene refstation
ecutoff 5
log rangecmpb ontime 1
log bestposb ontime 1
log gpsephemb onchanged
log gloephemeris onchanged
log bd3ephemb onchanged
log bd2ephemb onchanged
```

```
log galephemerisb onchanged
saveconfig
```

Включение позиционирования по отдельным ГНСС производилось с использованием группы команд UNLOCKOUTSYSTEM/LOCKOUTSYSTEM с соответствующими параметрами. Например, для режима GPS+ГЛОНАСС+BeiDou использовались команды:

```
UNLOCKOUTSYSTEM GPS
UNLOCKOUTSYSTEM GLONASS
LOCKOUTSYSTEM GALILEO
UNLOCKOUTSYSTEM BD2
LOCKOUTSYSTEM SBAS
saveconfig
```

8.3.1.1 Отмечены следующие особенности работы НАП:

- Команда LOCKOUTSYSTEM GALILEO завершалась ошибкой. Также ошибкой завершалась команда попытки включения определения местоположения по BeiDou3 – UNLOCKOUTSYSTEM BD3.

- Анализ записанных логов показал, что, несмотря на установку интервала выдачи местоопределений в 1 с, сообщения с успешными местоопределениями выдавались с интервалом 4 с.

- При работе в режиме BeiDou наблюдались проблемы с определением координат. На участке №4 НАП не смог войти в режим навигации. На участке 8 было получено только 200 местоопределений из приблизительно 1500 возможных (при интервале выдачи 4 с), т.е. около 13%.

8.3.2 НАП МНП-М9.1

8.3.2.1 Детальные количественные характеристики точности позиционирования НАП МНП-М9.1 на участках маршрута эксперимента по сигналам различных ГНСС и в различных режимах работы приведены в приложении (Приложение 5).

8.3.2.2 Итоговые характеристики точности позиционирования НАП МНП-М9.1 в различных режимах работы приведены в таблице 6 и в виде диаграммы на рисунке 9.

Таблица 6. Итоговые предельные погрешности позиционирования НАП МНП-М9.1 ($p=0.95$)

Режим	В плане, м	По высоте, м
GPS+ГЛОНАСС+BeiDou	7.87	18.96
ГЛОНАСС+ BeiDou	16.75	32.29
ГЛОНАСС	7.98	21.55
BeiDou	-	-

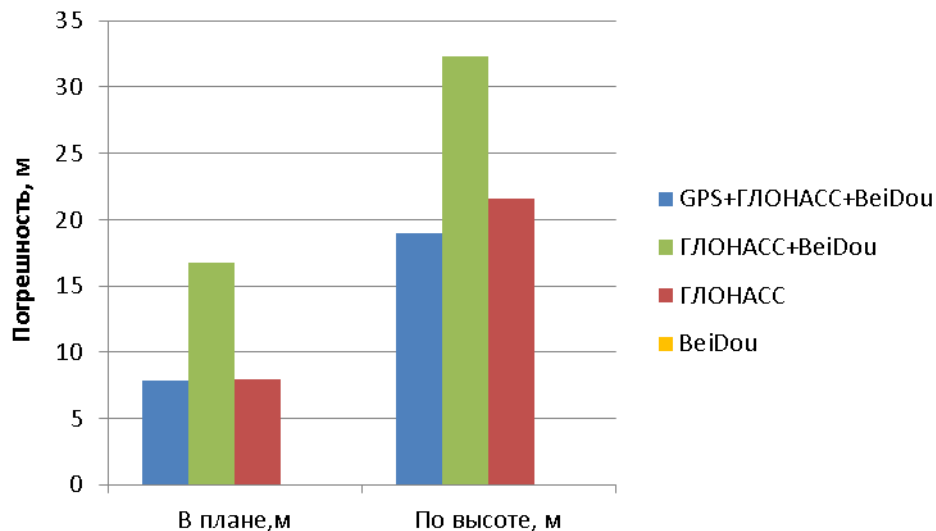


Рисунок 9 Итоговые предельные погрешности позиционирования МНП-М9.1 ($p=0.95$)

8.3.2.3 Ввиду малого количества удавшихся местоопределений и больших отклонений в показаниях НАП при работе по сигналам только BeiDou итоговые оценки в данном режиме не подводились.

8.3.2.4 При работе по сигналам только ГЛОНАСС+BeiDou наблюдались периоды времени, когда ошибка резко возрастала. В качестве примера на рисунке 10 приведены графики ошибок на участке №10.

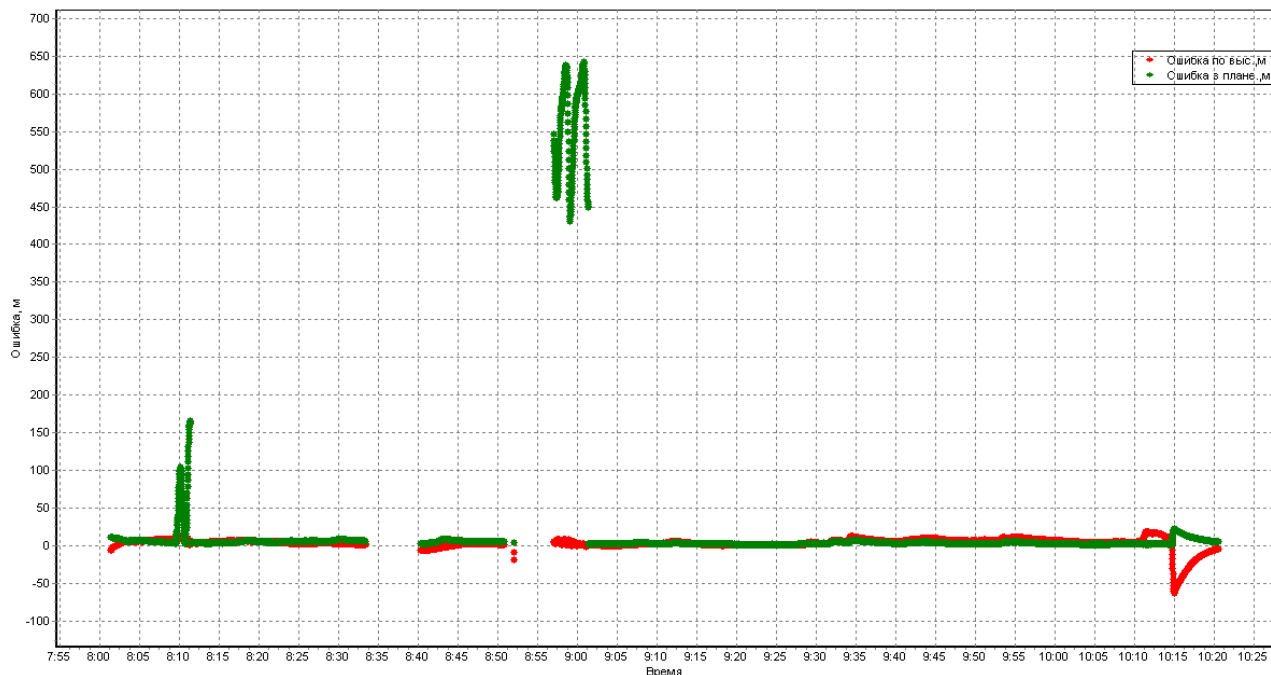


Рисунок 10 Ошибки позиционирования МНП-М9.1 на участке №10

8.3.2.5 На рисунке 11 показан график изменения долготы в указанный период. На графике отчетливо просматривается сдвиг показаний МНП М9.1 приблизительно на 20 с. При этом на графике траекторий в плане соответствующего сдвига не наблюдается.



Рисунок 11 Фрагмент графика изменения долготы на участке 10.
Зеленым – контрольная траектория. Красным - показания МНП-М9.1

8.3.3 НАП NV08C-RTK

8.3.3.1 Детальные количественные характеристики точности позиционирования НАП NV08C-RTK на участках маршрута эксперимента по сигналам различных ГНСС и в различных режимах работы приведены в приложении (Приложение 6).

8.3.3.2 Итоговые характеристики точности позиционирования НАП NV08C-RTK в различных режимах работы приведены в таблице 7 и в виде диаграммы на рисунке 12.

Таблица 7. Итоговые предельные погрешности позиционирования НАП NV08C-RTK ($p=0.95$)

Режим	В плане, м	По высоте, м
GPS	2.16	3.36
ГЛОНАСС	1.84	3.19
GPS+ГЛОНАСС	2.06	3.32

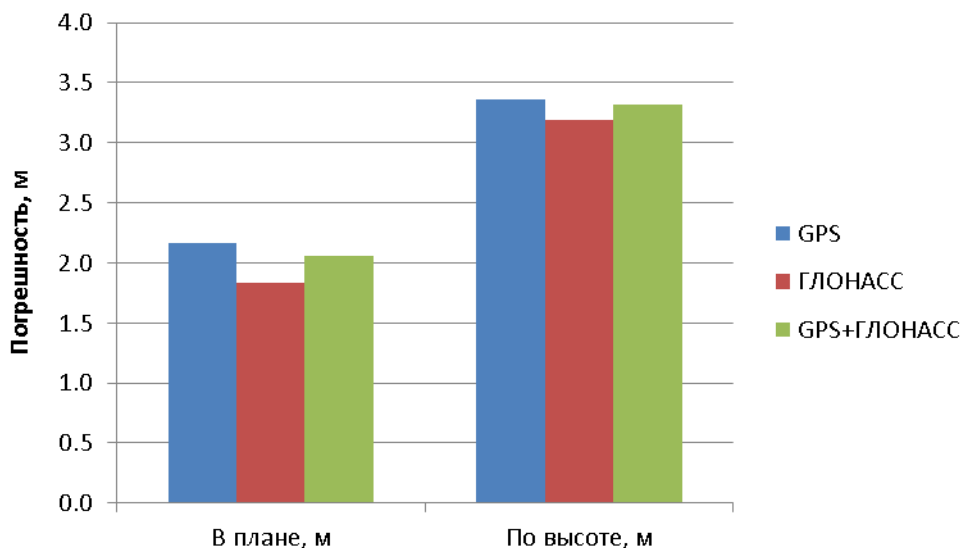


Рисунок 12 Итоговые предельные погрешности позиционирования NV08C-RTK ($p=0.95$)

8.3.4 НАП NV08C-СДКМ

8.3.4.1 Анализ показаний NV08C-СДКМ показал, что их временные отметки сдвинуты на 1с вперед относительно контрольной траектории. При расчете характеристик временные отметки были скорректированы на -1с.

8.3.4.2 Детальные количественные характеристики точности позиционирования NV08C-СДКМ на участках маршрута эксперимента по сигналам различных ГНСС и в различных режимах работы приведены в приложении (Приложение 7).

8.3.4.3 Итоговые характеристики точности позиционирования NV08C-СДКМ в различных режимах работы приведены в таблице 8 и в виде диаграммы на рисунке 13.

Таблица 8. Итоговые предельные погрешности позиционирования NV08C-СДКМ ($p=0.95$)

Режим	В плане, м	По высоте, м
GPS+СДКМ	2.30	3.45
ГЛОНАСС+СДКМ	2.17	3.43
GPS+ГЛОНАСС+СДКМ	2.24	3.26

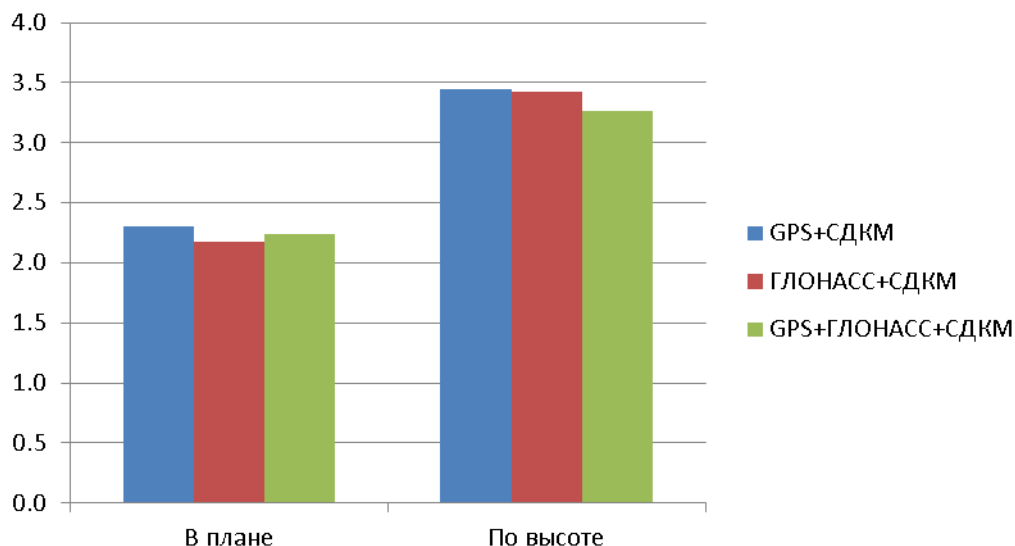


Рисунок 13 Итоговые предельные погрешности позиционирования NV08C-СДКМ (p=0.95)

8.4 Работоспособность и эффективность СДКМ

8.4.1 Проверка работоспособности широкозонного функционального дополнения СДКМ и оценка его эффективности проводились с использованием НАП Sigma-G3T и двух НАП NV08C-RTK на базе NV08C-SCM. При этом Sigma-G3T переключалась на участках между абсолютным режимом и режимом СДКМ, работая по сигналам ГЛОНАСС+GPS. А образцы НАП NV08C-RTK переключались между режимами GPS / ГЛОНАСС / GPS+ГЛОНАСС. При этом один из них постоянно работал в абсолютном режиме, а другой аналогичный был настроен на прием КИ СДКМ от спутников PRN-125, PRN-140, PRN-141.

8.4.2 Данные о количестве местоопределений в дифференциальном режиме (абсолютные и в процентах по отношению к общему количеству местоопределений с разрешенным дифрежимом) для НАП Sigma-G3T и NV08C-СДКМ приведены в таблицах 9 и 10 соответственно.

Таблица 9 Оценка доли местоопределений Sigma-G3T с использованием КИ СДКМ

Участок	Всего отсчетов	Дифрежим по КИ СДКМ					
		PRN-125		PRN-140		Всего	
		Отсчетов	%	Отсчетов	%	Отсчетов	%
2	7 874	4 360	55%	3 512	45%	7 872	100%
4	10 480	8 674	83%	1 799	17%	10 473	100%
6	11 599	0	0%	9 308	80%	9 308	80%
8	11 689	0	0%	3 835	33%	3 835	33%
10	8 414	6 018	72%	2 394	28%	8 412	100%
Итого	50 056	19 052	38%	20 848	42%	39 900	80%

Таблица 10 Оценка доли местоопределений NV08С-СДКМ с использованием КИ СДКМ

Участок	Всего отсчетов	Диффрежим по КИ СДКМ	
		Отсчетов	%
1	12 038	9 028	75%
2	7 858	7 103	90%
3	7 130	5 311	74%
4	10 326	10 326	100%
5	9 844	6 866	70%
6	11 396	0	0%
7	9 700	0	0%
8	11 782	601	5%
9	6 635	4 828	73%
10	9 205	6 663	72%
11	12 446	10 393	84%
Итого	108 360	61 119	56%

8.4.3 Итоговые предельные погрешности местоопределений в плане ($P=0.95$) в абсолютном режиме и при приеме КИ СДКМ приведены в таблице 11 и в виде диаграммы на рисунке 14.

Таблица 11 Итоговые предельные погрешности местоопределений в плане ($P=0.95$) в абсолютном режиме и при приеме КИ СДКМ

НАП, режим	Погрешность, м	
	Абсолютный режим	Прием КИ СДКМ
Sigma-G3T, GPS+ГЛОНАСС	2.82	1.51
NV08С, GPS	2.16	2.30
NV08С, ГЛОНАСС	1.84	2.17
NV08С, GPS+ГЛОНАСС	2.06	2.24

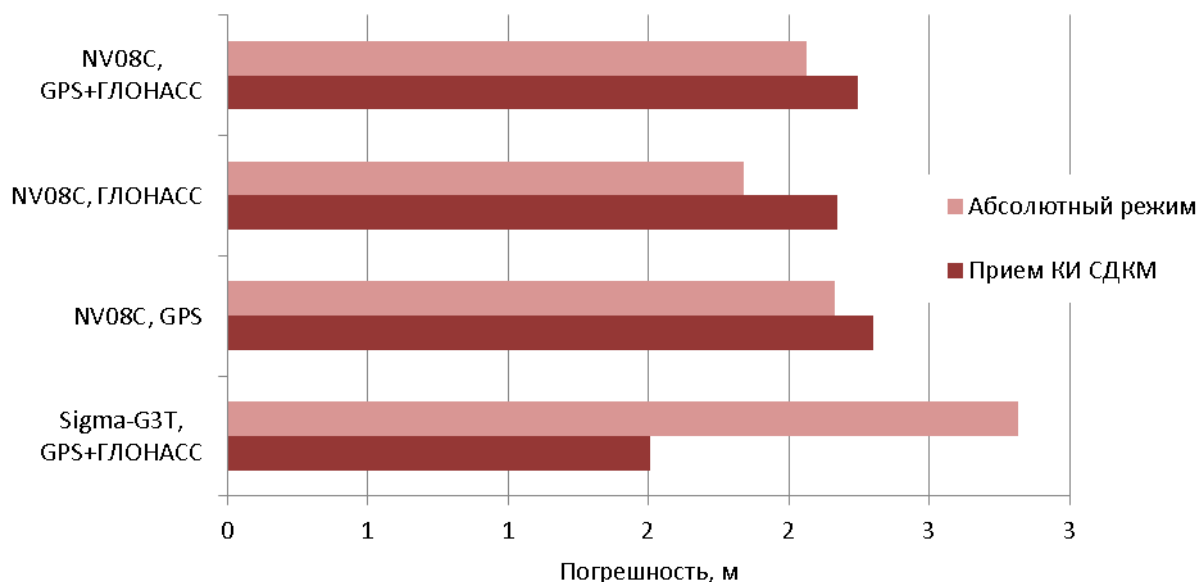


Рисунок 14 Итоговые предельные погрешности местоопределений в плане (P=0.95) в абсолютном режиме и при приеме КИ СДКМ

8.5 Покрывание маршрута эксперимента сотовой связью

8.5.1 Для оценки качества навигационного обеспечения в транспортном коридоре в части покрытия сотовой связью использовался 3G SMART терминал Cinterion® EHS6T USB. Терминал оснащен функцией мониторинга сети сотовых станций. Устройство имеет 5 диапазонов UMTS (WCDMA/FDD): 800, 850, 900, 1900 и 2100 и 4 диапазона GSM: 850, 900, 1800, 1900.

8.5.2 В процессе движения с помощью специальной программы и 3G терминала производился сбор данных о сети сотовой связи. Эти данные записывались в файлы-протоколы с привязкой к координатам местности, полученным с НАП Sigma-G3T.

8.5.3 По завершении испытаний файлы были обработаны специальной программой, которая позволяет анализировать доступность и уровень сигнала с базовых станций всех доступных операторов сотовой связи в режимах: GSM, GPRS, 3G.

8.5.4 В таблице 12 перечислены сотовые операторы, сигнал от базовых станций которых был зарегистрирован в процессе испытаний (идентификация в соответствии с <http://www.numberportabilitylookup.com>).

Таблица 12 Сотовые операторы на маршруте испытаний

PLMN-код оператора	Оператор сотовой связи
25001	МТС
25002	Мегафон
25099	Билайн
25020	Tele2
24801	AS EMT (Эстония)
24802	Elisa Esti (Эстония)
24803	Tele2 Eesti (Эстония)
24701	Latvian Mobile Telephone (Латвия)
24705	Bite GSM (Латвия)

8.5.5 Результаты оценки доступности сотовой связи в различных режимах на участках маршрута представлены в таблице 13 и на рисунке 15. Покрытие в рассматриваемой точке на трассе считалось достаточным при уровне сигнала хотя бы одного оператора связи в данном режиме не менее минус 95 дБмВт.

Таблица 13 Покрытие сотовой связью участков маршрута

Режим	Участок											Итого	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
GSM/GPRS	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
3G	100%	57%	86%	97%	98%	97%	55%	79%	45%	50%	95%	76%	

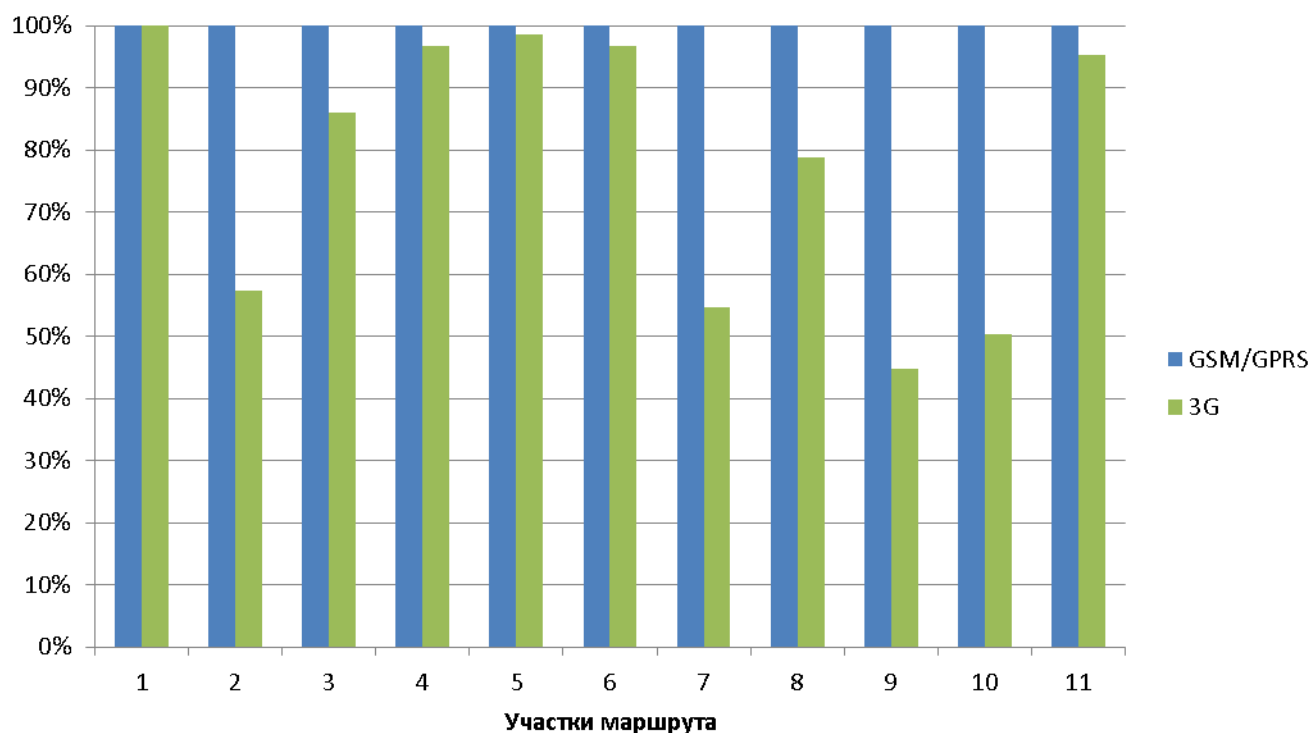


Рисунок 15 Покрытие сотовой связью участков маршрута

8.5.6 Карты покрытия участков транспортного коридора сотовой связью в различных режимах приведены в приложении (Приложение 8).

9 ВЫВОДЫ

9.1 Выводы по условиям спутниковой навигации

9.1.1 Количество наблюдаемых НКА ГЛОНАСС и GPS и их расположение достаточны для уверенной навигации как в совмещенном режиме, так и отдельно по ГЛОНАСС и по GPS на всем протяжении обследованных западных маршрутов экономического пояса «Шелкового пути». При ограничении по углу места не менее 5° условия навигации были хорошими в 99% случаев для каждой из этих ГНСС.

9.1.2 Условия навигации отдельно по BEIDOU заметно менялись на маршруте эксперимента. По наблюдаемым НКА они были хорошими в более чем 97% случаев для юго-восточных участков маршрута. На северо-западных участках их доля снизилась до 77%, что объясняется зональным, не полностью глобальным, покрытием BEIDOU (в настоящее время полное покрытие обеспечивается на территории Китая). Однако следует учитывать, что около половины наблюдаемых НКА BEIDOU на момент проведения испытаний не имело признака пригодности для использования по целевому назначению. В результате решение отдельно по BEIDOU было доступно далеко не всегда: по показаниям НАП SigmaQM - в 30% случаев, по показаниям M300 – только в 5% случаев.

9.1.3 При использовании совместно ГЛОНАСС и BEIDOU условия навигации на участках маршрута были хорошими в 100% случаев. При этом они всегда были лучше, чем по GPS. Итоговые показатели:

- среднее кол-во видимых НКА: GPS – 9,9; ГЛОНАСС+BeiDou – 16,2;
- медиана PDOP: GPS – 1,6; ГЛОНАСС+BeiDou – 1,3.

9.1.4 Условия навигации по GALILEO были хорошими в 75% случаев.

9.2 Выводы по результатам испытаний НАП в абсолютном режиме

9.2.1 Большинство испытанных образцов НАП показали точность позиционирования, достаточную для уверенной навигации по всем комбинациям ГНСС, в которых они испытывались. Исключение – МНП-М9.1, который практически не входил в режим навигации отдельно по BEIDOU и показал недопустимо большие отклонения в режиме работы по ГЛОНАСС+BEIDOU. Также имелись сбои в показаниях M300 в режиме работы по ГЛОНАСС.

9.2.2 Показатели точности позиционирования по отдельным ГНСС, продемонстрированные испытанными образцами НАП, заметно отличались. Лучшие итоговые показатели среди НАП по точности позиционирования по отдельным ГНСС: ГЛОНАСС – 1.84м (NV08C-RTK), BEIDOU – 5.47м (SigmaQM), GPS – 2.16м (NV08C-RTK) (здесь и далее оцениваются предельные погрешности позиционирования в плане при вероятности 0.95).

9.3 Выводы по результатам оценки СДКМ

9.3.1 В испытаниях КИ от СДКМ принимали две модели НАП – NV08C-RTK и Sigma-G3T.

9.3.2 НАП Sigma тестировалась в одночастотном режиме при работе по сигналам ГЛОНАСС+GPS. По показаниям НАП Sigma доля местоопределений в дифференциальном режиме при использовании КИ от СДКМ от общего числа составила 80%. При этом приблизительно в половине случаев использовалась КИ, ретранслируемая спутником PRN-125, в другой половине - PRN-140. При использовании КИ СДКМ погрешность позиционирования

по сравнению с абсолютным режимом снизилась почти в два раза – с 2.82 м до 1.52 м. Но, поскольку данная НАП переключалась с дифференциального на абсолютный режим местоопределений на чередующихся участках, на эти показатели могли повлиять различия условий навигации на этих участках.

9.3.3 Для НАП NV08C-RTK оценка влияния КИ СДКМ проводилась при работе НАП по сигналам различных ГНСС – по ГЛОНАСС, по GPS и по ГЛОНАСС+GPS. Использовались два образца НАП – один работал в абсолютном режиме местоопределений, другой использовал КИ СДКМ. Ни в одной из комбинаций ГНСС при получении КИ СДКМ существенных изменений точности позиционирования не наблюдалось (при корректировке времени показаний NV08C-СДКМ на -1с). При этом погрешности во всех режимах укладывались в диапазон 1.84 – 2.30 м.

9.4 Выводы по результатам проверки покрытия сотовой связью

9.4.1 Покрытие обследованных маршрутов в режиме GSM/GPRS совокупностью операторов сотовой связи составляет 100%.

9.4.2 Покрытие трассы сотовой связью в режиме 3G совокупностью операторов составляет 76%. Проблемными в режиме 3G можно считать участки: Кингисепп – Псков, Великие Луки – Ржев, а также участок нового шоссе при объезде Торжка и Нижнего Волочка.

Заместитель начальника отдела 3041

А.А.Бермишев

Начальник лаборатории отд. 3041

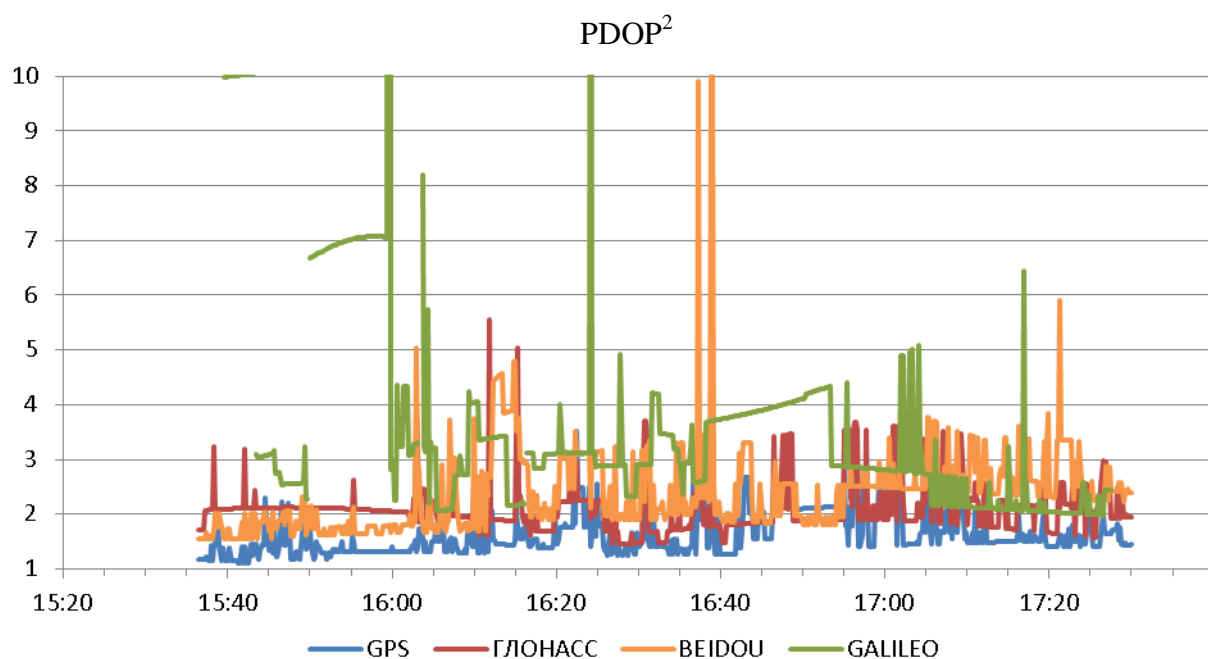
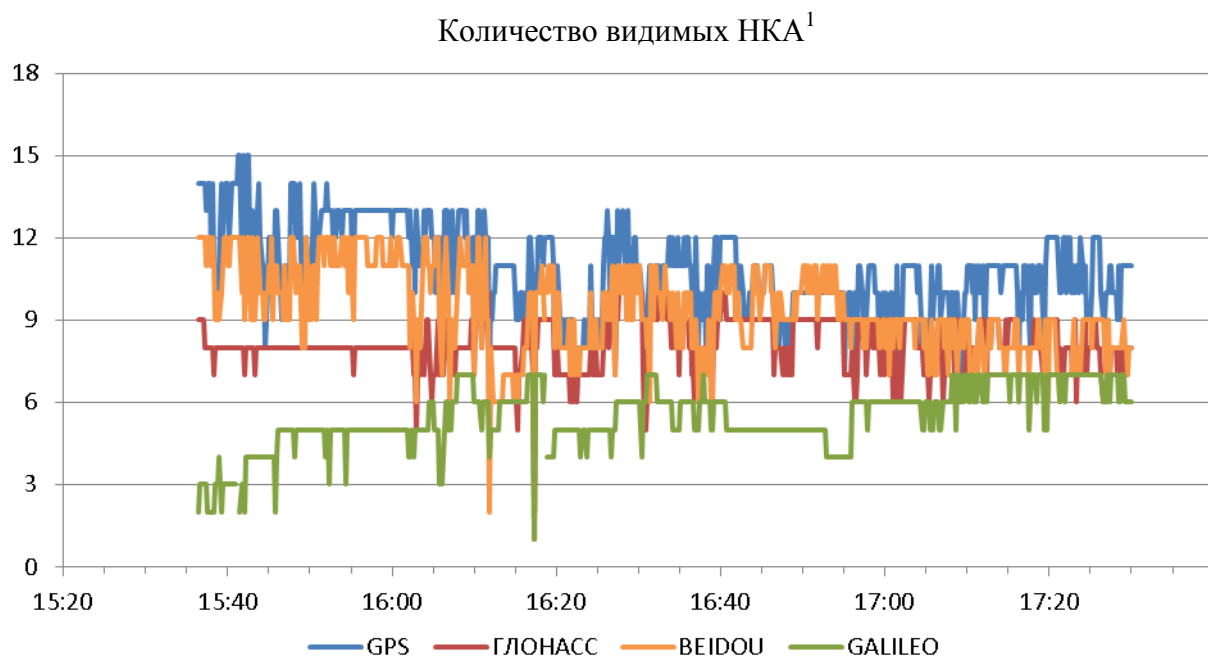
В.Л.Лапшин

Ведущий инженер отд. 3041

Д.В.Виндерских

Приложение 1. Графики условий навигации на участках маршрута

Участок 1

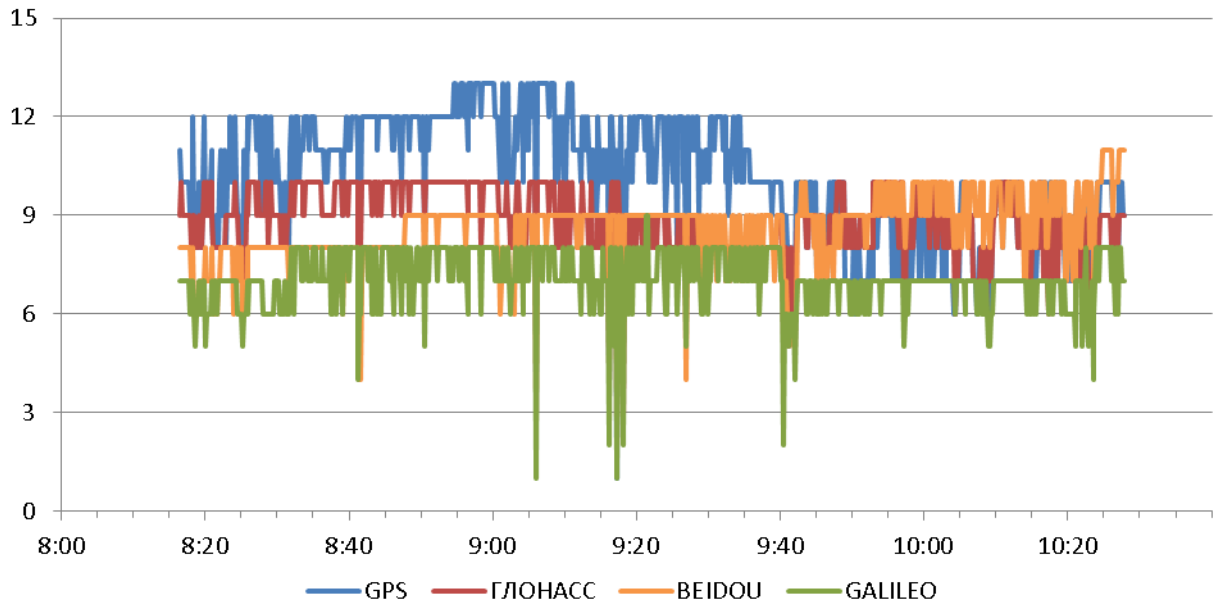


¹ Здесь и далее количество видимых НКА указано для углов места не менее 5°

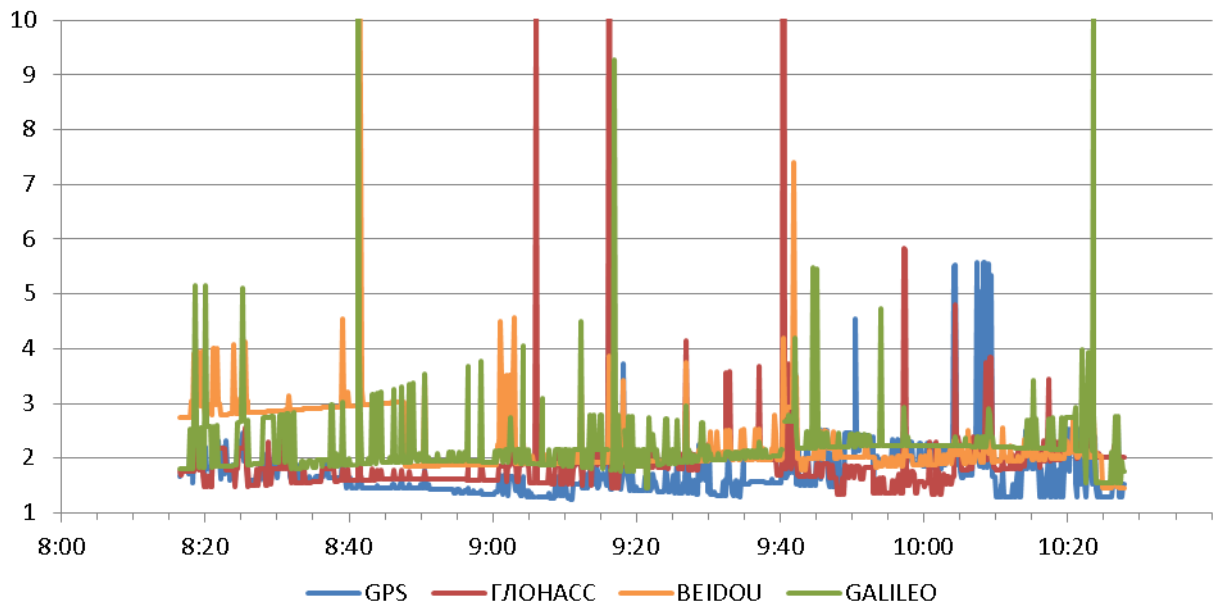
² Здесь и далее PDOP рассчитан по НКА с углами места не менее 5°

Участок 2

Количество видимых НКА

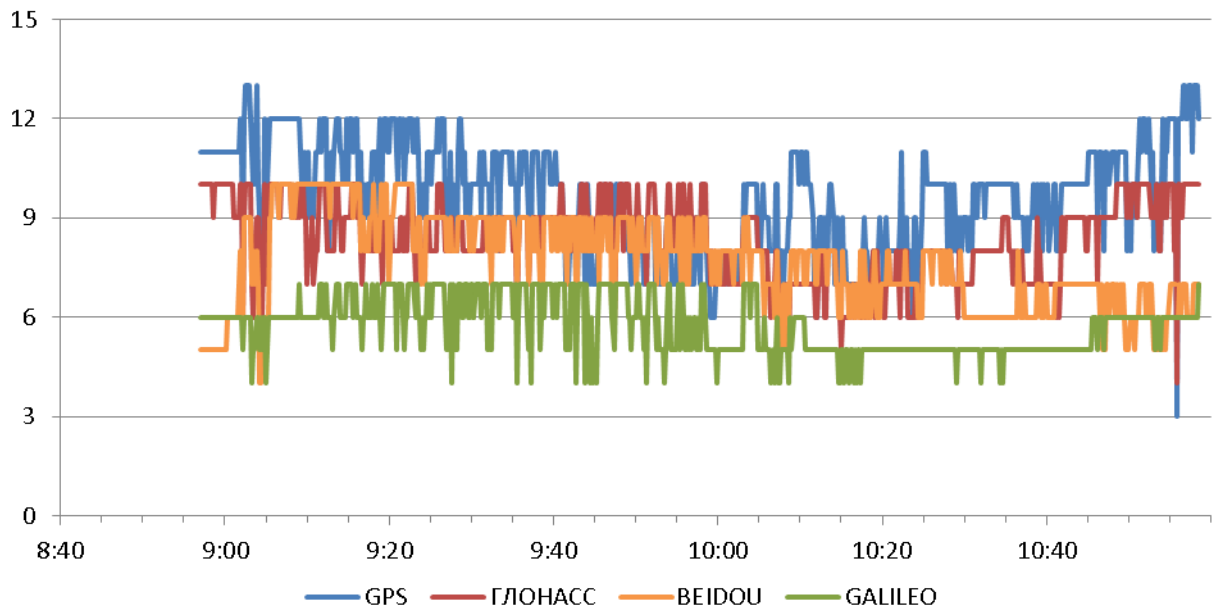


PDOP

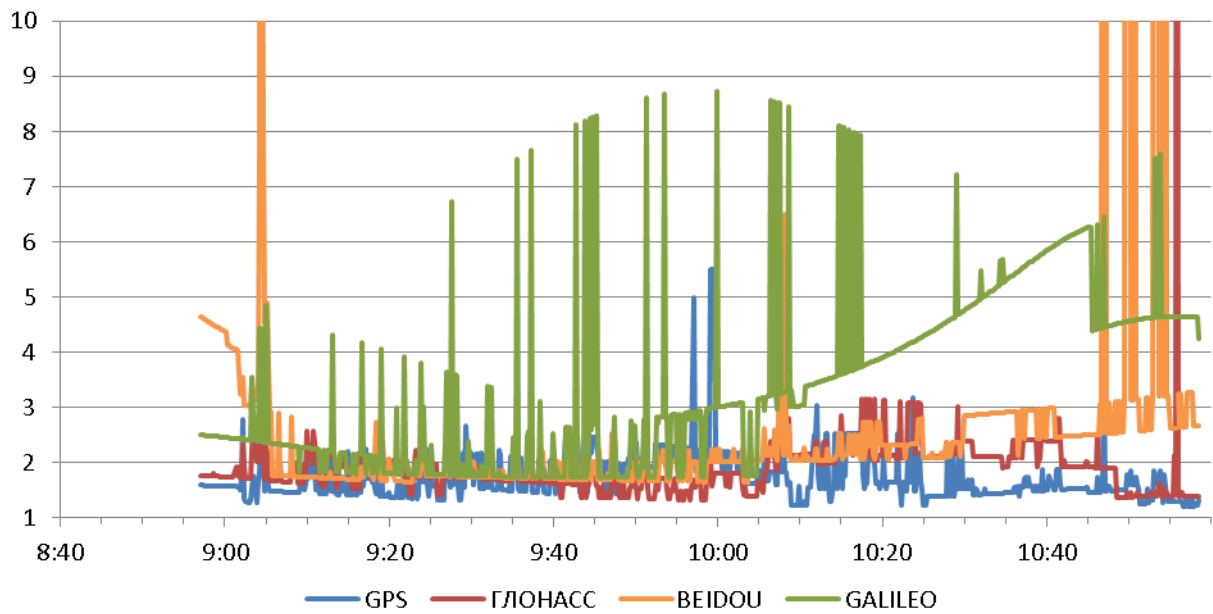


Участок 3

Количество видимых НКА

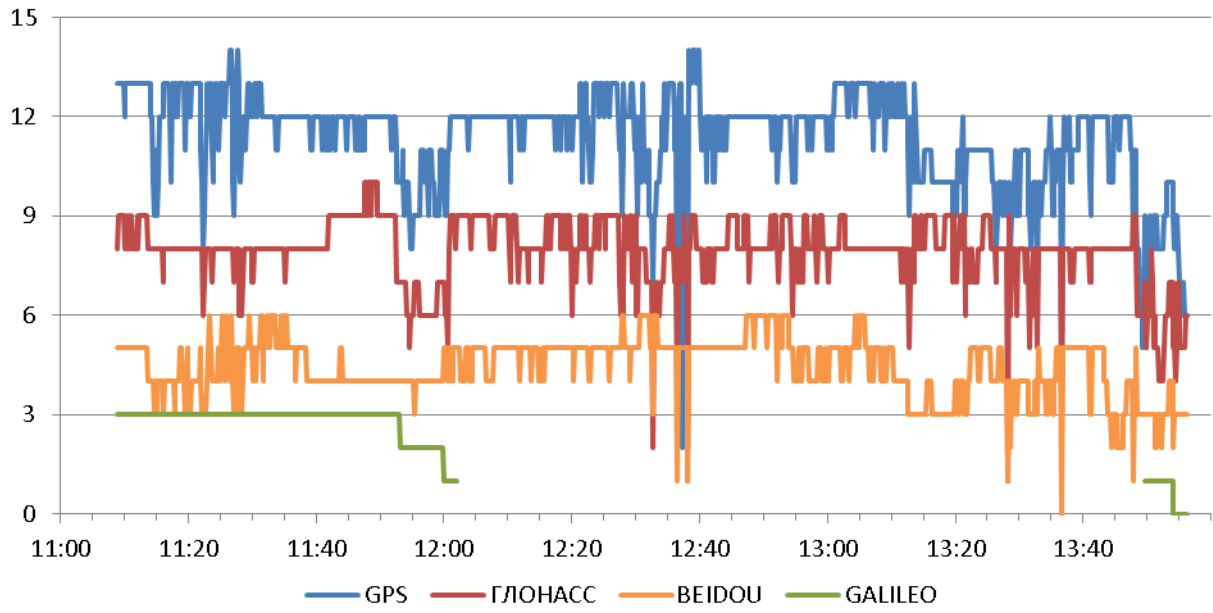


PDOP

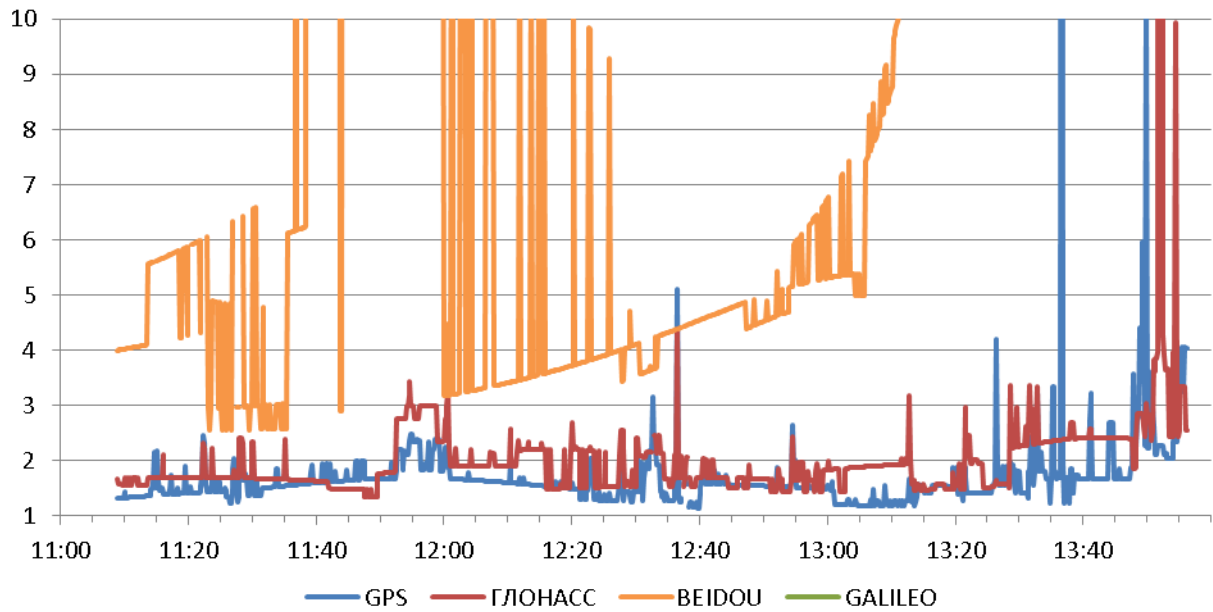


Участок 4

Количество видимых НКА

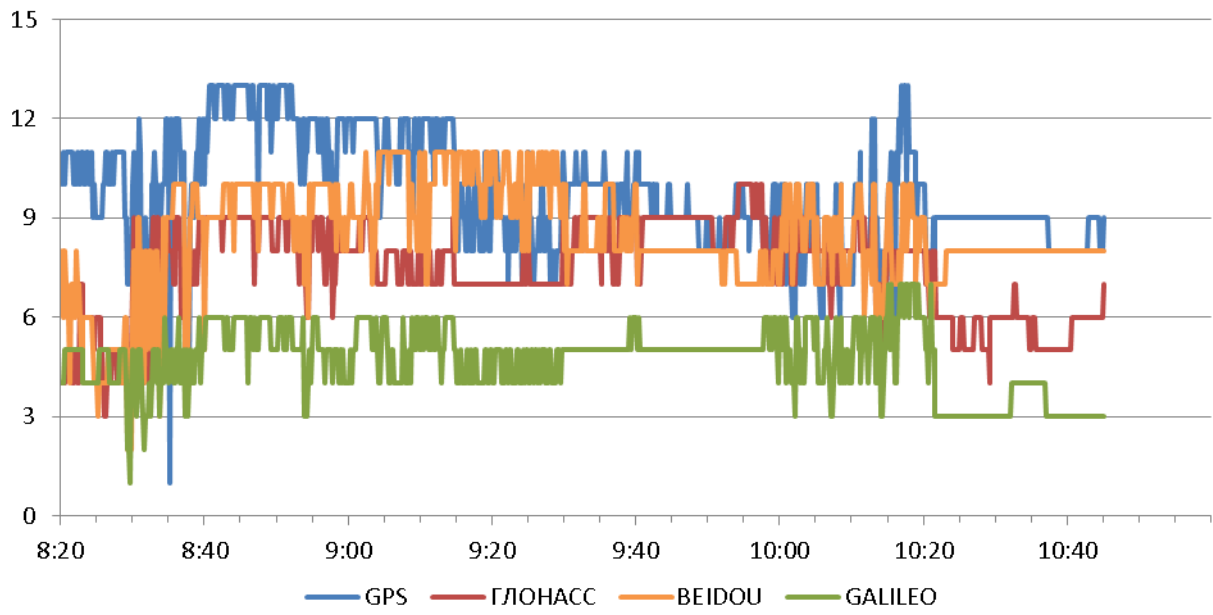


PDOP

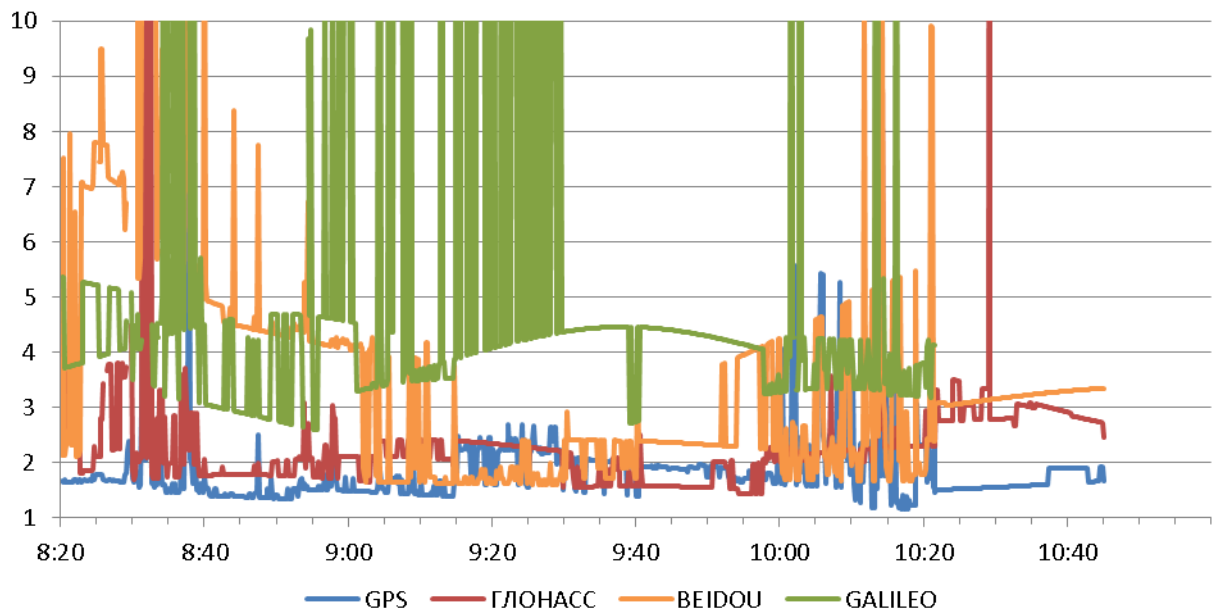


Участок 5

Количество видимых НКА

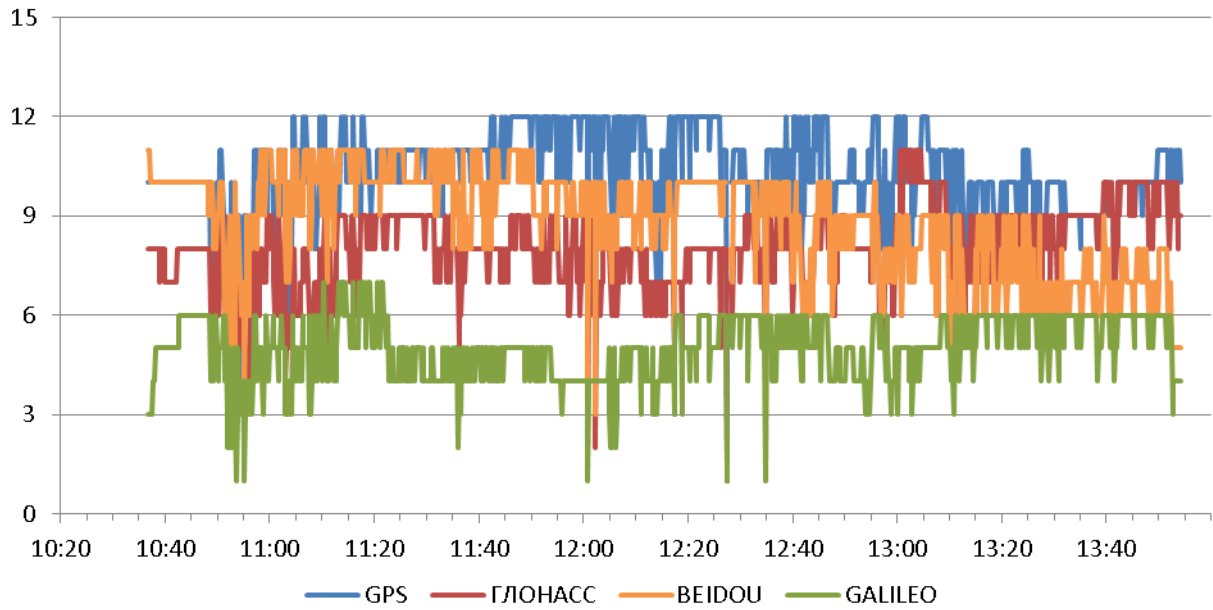


PDOP

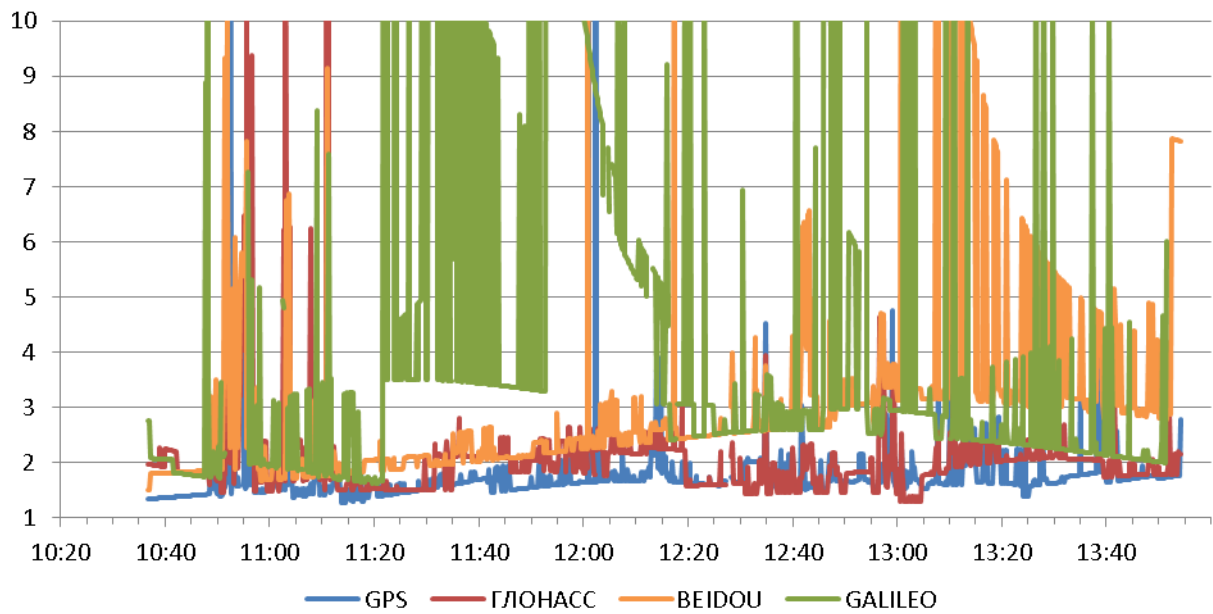


Участок 6

Количество видимых НКА

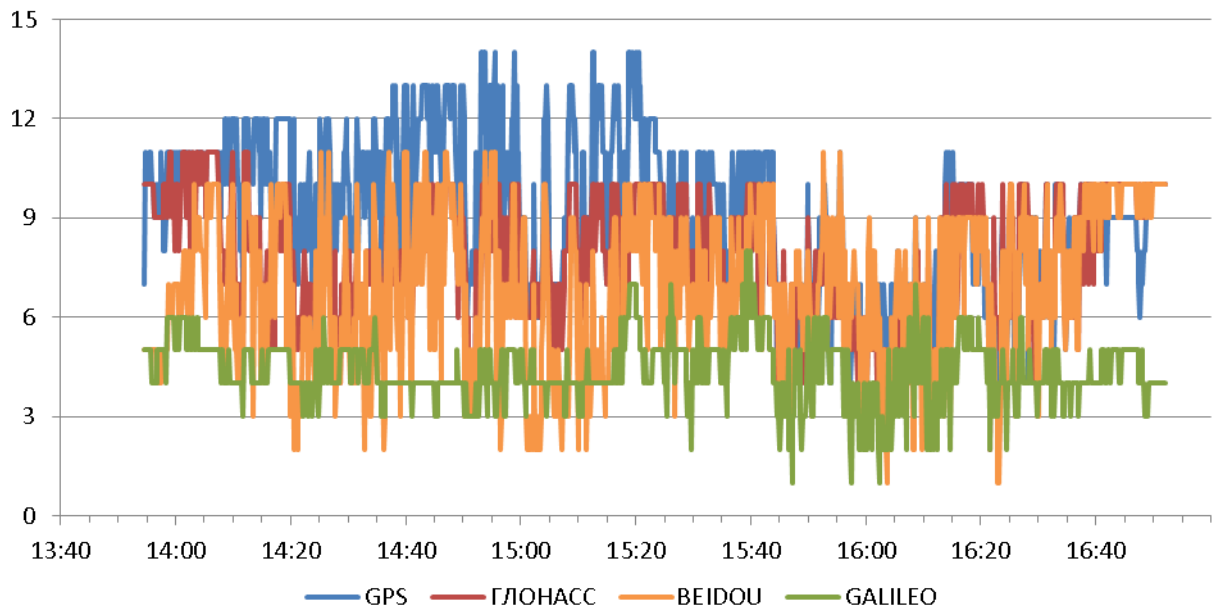


PDOP

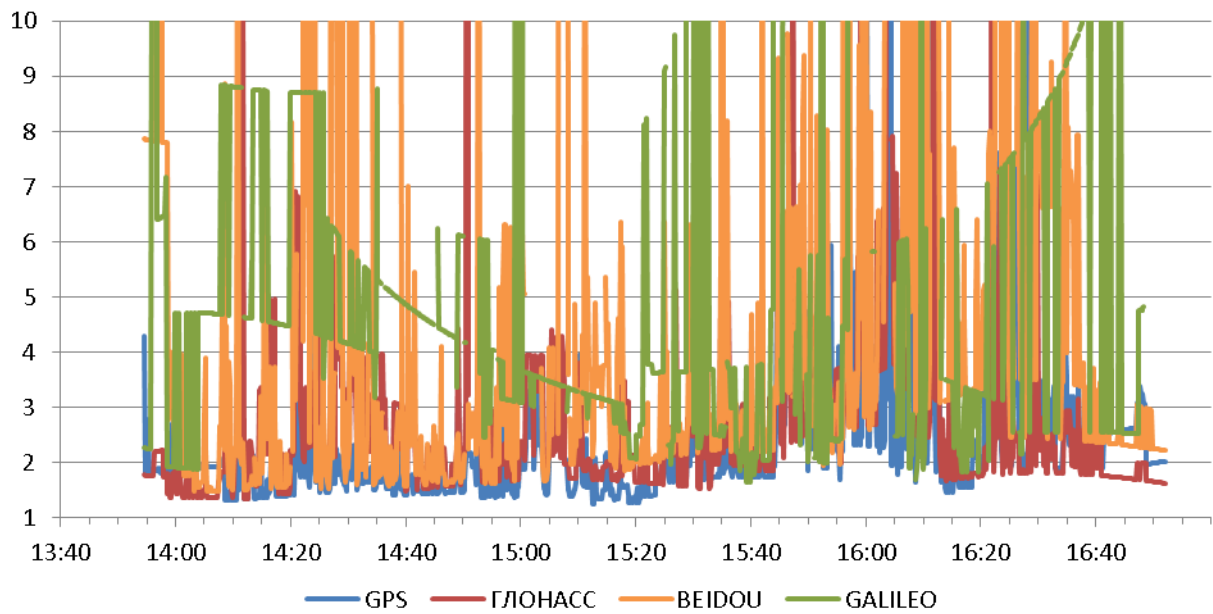


Участок 7

Количество видимых НКА

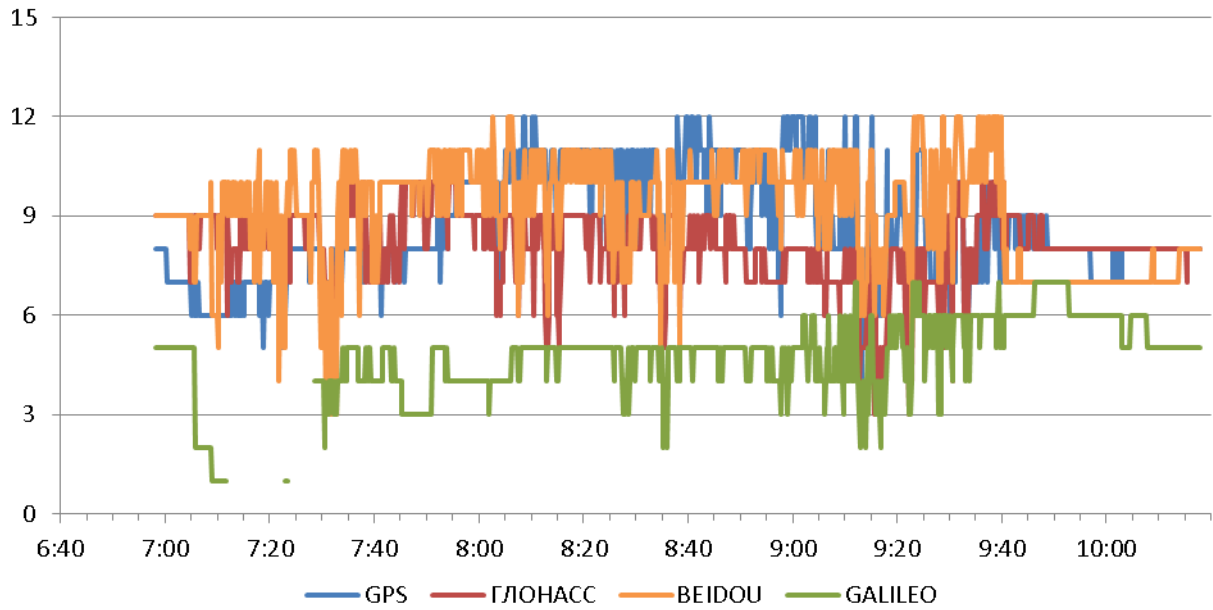


PDOP

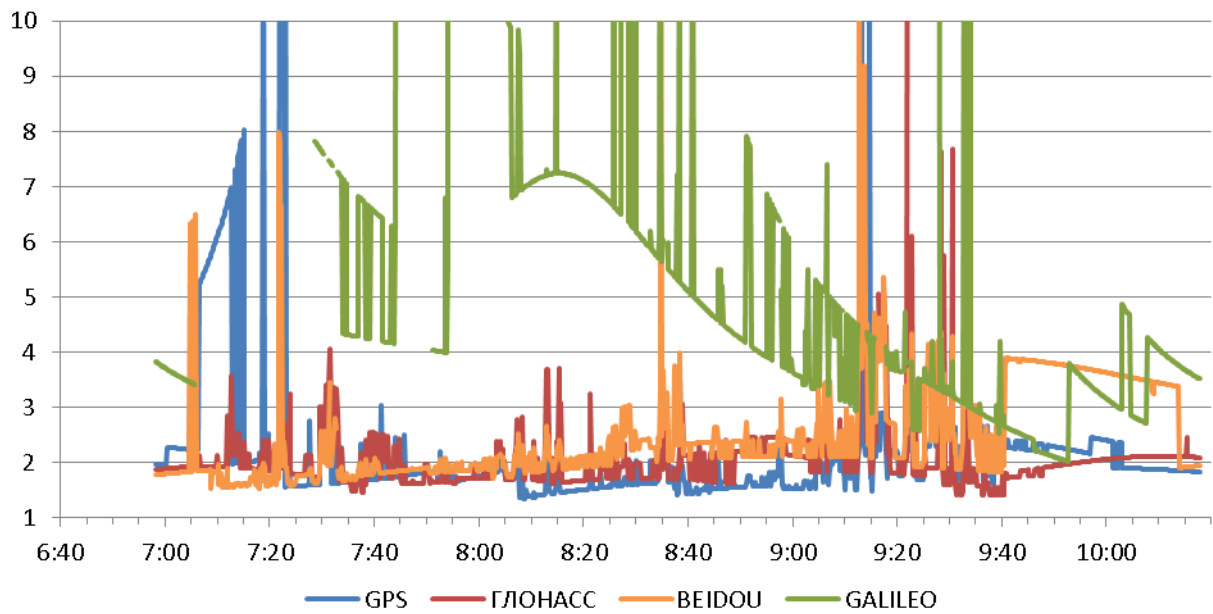


Участок 8

Количество видимых НКА

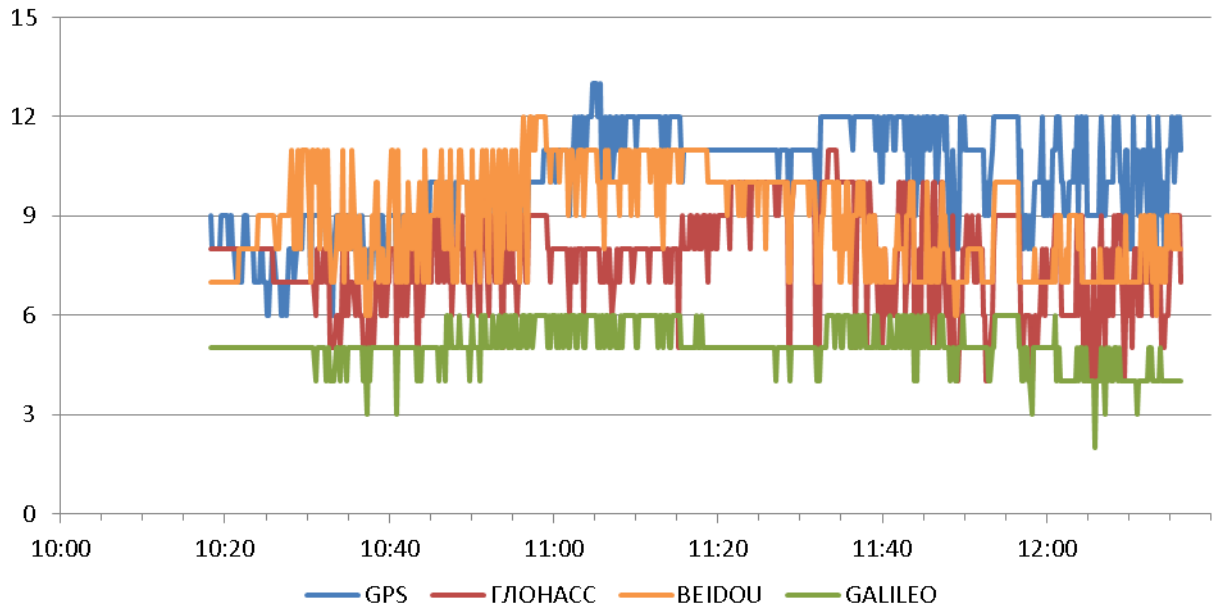


PDOP

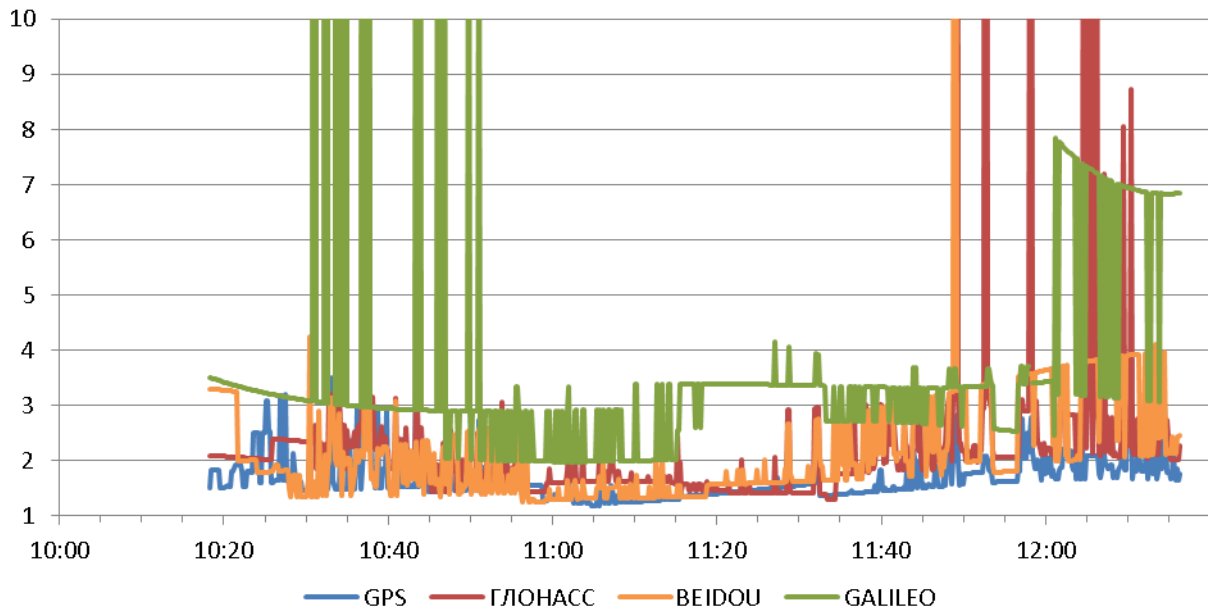


Участок 9

Количество видимых НКА

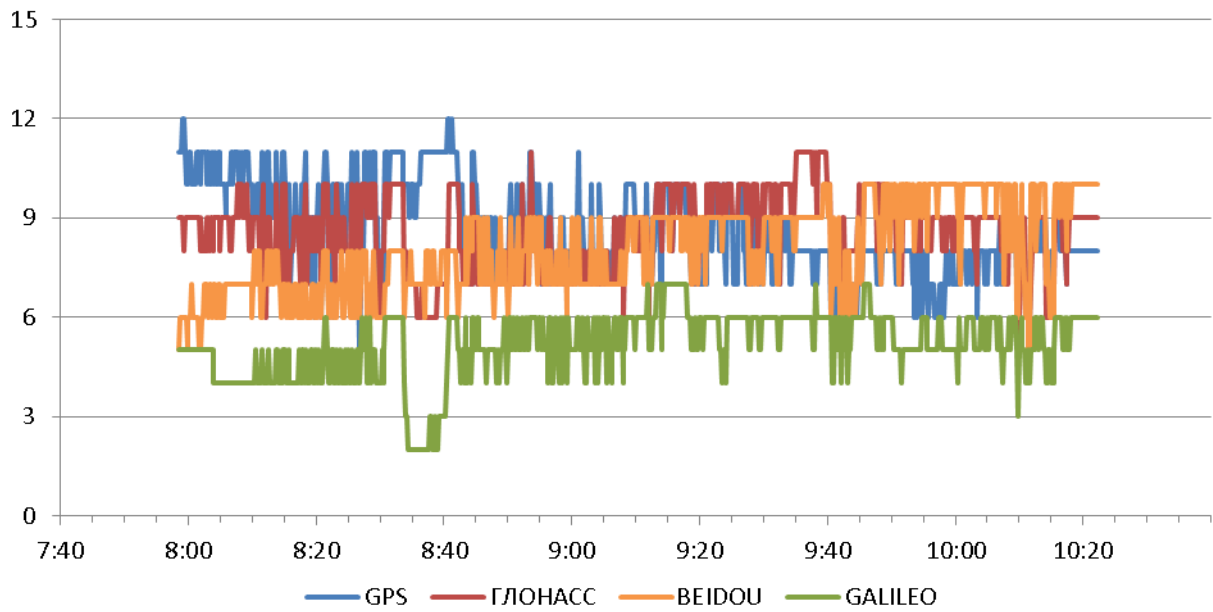


PDOP

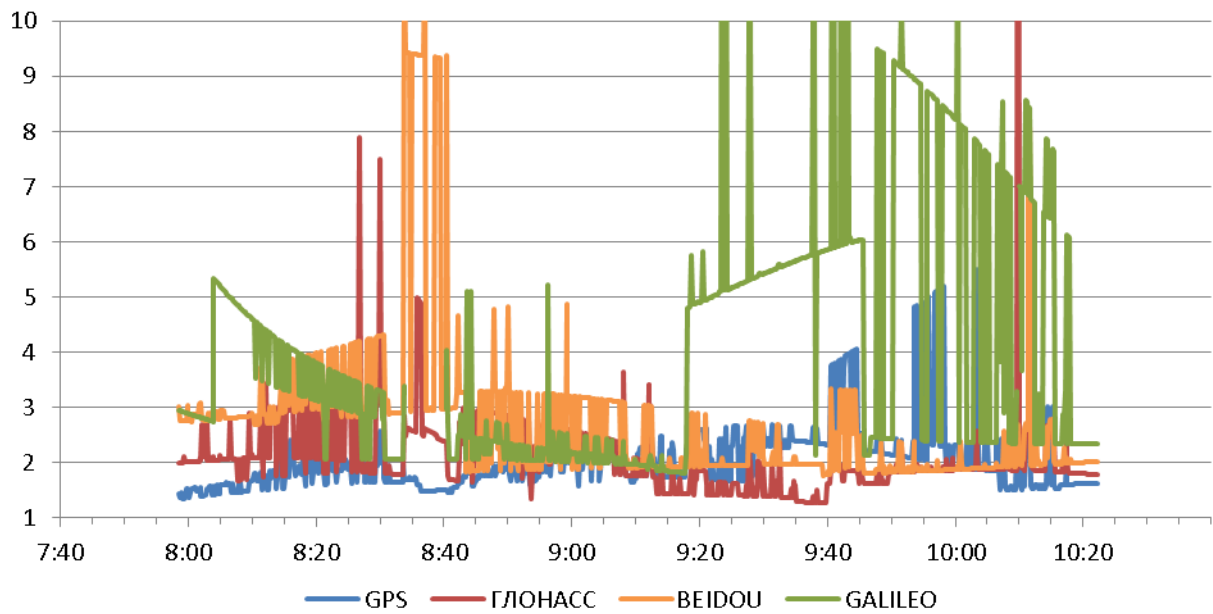


Участок 10

Количество видимых НКА

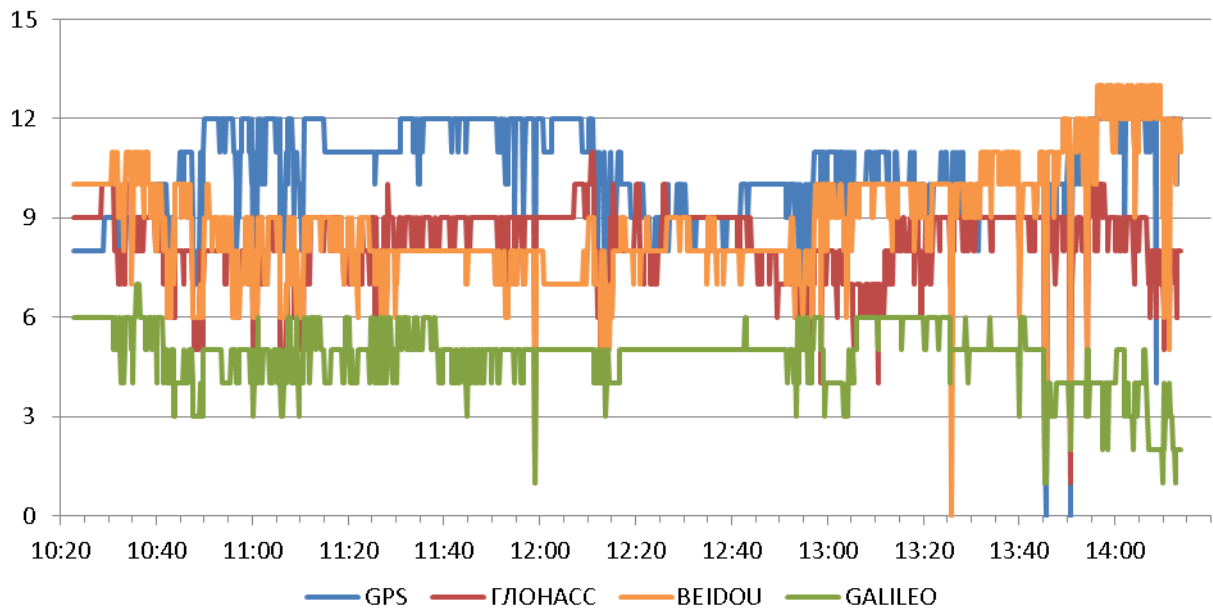


PDOP

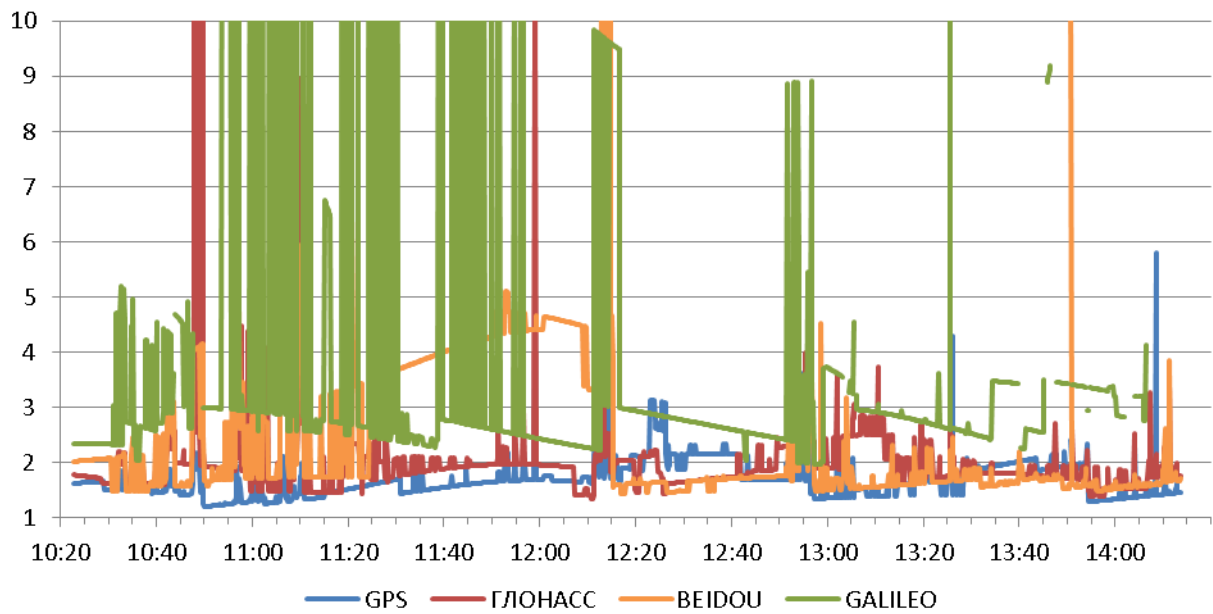


Участок 11

Количество видимых НКА



PDOP



Приложение 2. Характеристики точности позиционирования НАП SigmaQM

Участок	По высоте, м				В плане, м				Кол-во местоопределений	Медиана PDOP
	СКП	Предельная погрешность			СКП	Предельная погрешность				
		P=0.5	P=0.95	P=0.997		P=0.5	P=0.95	P=0.997		
GPS+ГЛОНАСС+BeiDou										
1	1.78	1.09	3.01	6.29	1.28	1.00	2.19	3.82	9 840	0.57
5	2.23	1.71	4.11	8.46	2.09	1.38	2.72	12.74	8 468	0.70
9	2.47	2.13	4.15	5.63	1.58	1.05	3.04	3.45	6 739	0.63
Итого	2.12	1.58	3.69	6.85	1.63	1.14	2.60	6.74	25 047	0.63
ГЛОНАСС+BeiDou										
2	3.87	3.13	6.67	9.94	2.16	1.58	3.97	5.30	7 124	1.04
6	6.45	2.03	8.25	15.33	2.37	1.60	4.21	9.71	10 450	0.94
10	6.43	6.46	8.49	17.94	1.99	1.63	3.25	5.77	7 721	1.04
Итого	5.72	3.69	7.88	14.61	2.19	1.60	3.85	7.27	25 295	1.00
ГЛОНАСС										
3	6.45	3.75	8.83	60.80	5.38	4.01	6.34	34.86	7 160	1.13
7	15.28	9.33	24.09	107.33	8.15	3.80	13.33	56.34	9 287	1.34
11	15.48	10.61	21.12	64.90	10.37	5.20	9.04	98.51	13 127	1.16
Итого	13.23	8.55	19.08	77.23	8.46	4.47	9.73	69.86	29 574	1.21
BeiDou										
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	8.50	3.55	9.07	30.49	4.35	2.83	5.47	11.59	6 607	3.24
Итого	8.50	3.55	9.07	30.49	4.35	2.83	5.47	11.59	6 607	3.24

Приложение 3. Характеристики точности позиционирования НАП Sigma-G3T

Участок	По высоте, м				В плане, м				Кол-во местоопределений	Средний PDOP
	СКП	Предельная погрешность			СКП	Предельная погрешность				
		P=0.5	P=0.95	P=0.997		P=0.5	P=0.95	P=0.997		
GPS+ГЛОНАСС										
1	1.71	0.82	3.03	7.55	1.32	1.13	2.14	3.88	10 686	1.22
3	2.26	1.65	4.01	6.12	1.30	1.23	1.93	3.11	7 204	1.31
5	2.31	1.88	4.33	7.87	1.86	1.08	2.83	10.78	8 482	1.38
7	5.53	3.12	7.75	31.29	4.25	1.63	4.21	21.95	10 018	1.58
9	2.74	2.63	4.29	5.78	1.30	0.84	2.55	2.89	6 944	1.25
11	4.83	3.04	8.52	22.63	1.66	1.02	2.92	7.26	13 405	1.20
Итого	3.41	2.24	5.63	14.95	1.99	1.16	2.82	8.68	56 739	1.32
GPS+ГЛОНАСС+СДКМ										
2	0.85	0.43	1.58	3.74	0.64	0.38	0.99	2.40	7 664	1.41
4	1.55	0.44	2.24	11.23	0.69	0.32	1.24	3.90	9 514	1.31
6	5.15	0.92	4.37	8.62	1.14	0.56	1.54	3.74	11 486	1.51
8	2.64	1.62	4.93	15.96	1.72	0.90	2.31	6.14	11 715	1.45
10	1.14	0.36	1.88	9.12	0.63	0.50	1.09	1.98	8 000	1.50
Итого	2.49	0.82	3.23	10.22	1.03	0.56	1.51	3.85	48 379	1.44

Приложение 4. Характеристики точности позиционирования НАП М300

Участок	По высоте, м				В плане, м				Кол-во местоопределений
	СКП	Предельная погрешность			СКП	Предельная погрешность			
		P=0.5	P=0.95	P=0.997		P=0.5	P=0.95	P=0.997	
GPS+ГЛОНАСС+BeiDou									
1	2.35	1.46	4.29	10.33	1.62	1.27	2.89	5.50	2 031
5	3.83	0.99	11.28	15.29	3.19	2.30	3.92	19.43	1 602
9	2.44	1.75	4.32	7.66	1.49	1.16	2.86	3.50	1 224
Итого	2.86	1.38	6.60	11.29	2.11	1.58	3.22	9.59	4 857
ГЛОНАСС+BeiDou									
2	6.51	3.93	12.75	14.76	1.78	1.21	3.03	4.13	921
6	4.22	2.83	7.07	16.93	2.72	2.10	4.66	7.68	2 083
10	4.80	3.48	6.55	13.24	2.74	1.66	3.72	17.28	1 550
Итого	4.88	3.27	8.04	15.24	2.54	1.77	4.01	10.23	4 554
ГЛОНАСС									
3	6.69	5.71	12.14	15.63	3.12	2.77	5.70	6.68	906
7	9.98	4.74	22.24	46.78	2.94	2.39	4.86	9.92	1 510
11	10.18	8.96	16.30	23.16	4.00	2.42	6.82	10.12	1 244
Итого	9.23	6.41	17.72	31.04	3.34	2.49	5.73	9.19	3 660
BeiDou									
4*	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	7.35	4.79	12.88	27.10	7.21	6.25	10.62	18.64	200
Итого	7.35	4.79	12.88	27.10	7.21	6.25	10.62	18.64	200

* - Приемник не вошел в режим местоопределений по заданной ГНСС

Приложение 5. Характеристики точности позиционирования НАП МНП-М9.1

Участок	По высоте, м				В плане, м				Кол-во местоопределений	Медиана PDOP
	СКП	Предельная погрешность			СКП	Предельная погрешность				
		P=0.5	P=0.95	P=0.997		P=0.5	P=0.95	P=0.997		
GPS+ГЛОНАСС+BeiDou										
1	9.16	7.63	16.23	18.27	2.62	1.05	4.06	14.86	5 689	0.90
5	8.29	7.07	16.16	20.31	4.80	3.80	11.94	15.62	8 494	1.00
9	11.59	6.05	25.61	54.15	2.97	2.12	5.69	12.32	5 921	1.00
Итого	9.51	6.93	18.96	29.70	3.64	2.53	7.87	14.43	20 104	0.97
ГЛОНАСС+BeiDou										
2	5.07	2.91	8.79	18.17	2.91	2.36	5.39	7.16	7 653	1.60
6	30.15	7.57	61.98	183.73	13.77	3.43	24.35	102.98	11 004	1.30
10	8.15	3.63	12.80	56.80	104.09	2.43	17.18	632.14	7 534	1.60
Итого	16.49	5.07	32.29	98.84	36.58	2.83	16.75	227.20	26 191	1.47
ГЛОНАСС										
3	11.43	11.86	17.83	21.32	6.00	6.02	8.59	9.50	7 154	1.70
7	6.54	4.86	13.34	16.98	4.05	3.20	6.18	18.19	10 111	1.80
11	16.74	11.94	30.62	57.33	5.96	4.91	9.12	14.91	12 102	1.60
Итого	11.93	9.48	21.55	34.67	5.31	4.59	7.98	14.72	29 367	1.69
BeiDou										
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Итого	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Приложение 6. Характеристики точности позиционирования НАП NV08С-RTK

Участок	По высоте, м				В плане, м				Кол-во местоопределений	Медиана PDOP
	СКП	Предельная погрешность			СКП	Предельная погрешность				
		P=0.5	P=0.95	P=0.997		P=0.5	P=0.95	P=0.997		
GPS+ГЛОНАСС										
1	1.19	0.66	1.68	4.97	1.58	1.36	2.57	3.38	10 842	1.10
4	2.60	2.23	3.69	11.10	1.12	0.96	1.70	4.01	9 460	1.10
7	3.69	1.70	4.35	11.79	3.11	0.85	2.43	4.01	9 849	1.10
10	2.86	2.73	3.82	8.31	0.89	0.78	1.36	2.33	8 108	1.10
Итого	2.54	1.75	3.32	8.95	1.71	1.01	2.06	3.48	38 259	1.10
GPS										
2	2.17	1.94	2.93	3.97	1.31	1.12	1.82	2.58	7 689	1.10
5	2.20	1.51	3.56	11.44	1.81	0.54	4.00	9.99	8 534	1.20
8	1.88	1.70	2.91	5.27	0.87	0.64	1.62	3.36	11 748	1.10
11	2.65	2.59	3.92	4.67	1.10	0.55	1.62	3.29	12 312	1.10
Итого	2.24	1.98	3.36	6.15	1.22	0.68	2.16	4.59	40 283	1.12
ГЛОНАСС										
3	1.11	0.88	1.98	2.94	0.99	0.76	1.57	3.71	7 215	1.20
6	5.36	1.42	4.08	5.76	1.57	1.13	2.15	3.06	11 291	1.10
9	2.04	1.94	3.01	3.73	1.07	0.95	1.60	2.92	6 639	1.10
Итого	3.26	1.40	3.19	4.41	1.27	0.98	1.84	3.21	25 145	1.13

Приложение 7. Характеристики точности позиционирования НАП NV08С-СДКМ

Участок	По высоте, м				В плане, м				Кол-во местоопределений	Медиана PDOP
	СКП	Предельная погрешность			СКП	Предельная погрешность				
		P=0.5	P=0.95	P=0.997		P=0.5	P=0.95	P=0.997		
GPS+ГЛОНАСС+СДКМ										
1	1.22	0.62	1.98	5.00	1.50	1.22	2.47	3.46	10 744	1.10
4	1.82	0.90	3.13	10.13	1.32	0.74	2.13	8.70	9 463	1.10
7	3.56	1.78	4.41	6.75	3.42	0.94	2.56	18.11	9 554	1.10
10	2.58	2.41	3.76	4.96	0.93	0.70	1.71	2.81	8 112	1.10
Итого	2.25	1.37	3.26	6.71	1.82	0.92	2.24	8.33	37 873	1.10
GPS+СДКМ										
2	1.54	0.96	2.42	6.67	1.11	0.87	1.76	2.78	7 655	1.10
5	1.89	1.05	3.96	10.07	1.79	0.80	3.63	9.14	8 534	1.20
8	1.86	1.71	2.97	4.70	0.88	0.64	1.64	2.86	11 752	1.10
11	2.64	2.47	4.20	5.80	1.57	0.77	2.34	6.53	12 229	1.10
Итого	2.04	1.66	3.45	6.55	1.33	0.76	2.30	5.30	40 170	1.12
ГЛОНАСС+СДКМ										
3	1.35	0.91	2.76	4.20	1.08	0.76	2.08	3.32	7 112	1.20
6	5.44	1.50	4.17	6.49	1.68	1.14	2.18	3.22	11 251	1.10
9	1.68	1.53	2.88	4.08	1.45	1.00	2.26	7.36	6 624	1.10
Итого	3.28	1.34	3.43	5.20	1.45	0.99	2.17	4.35	24 987	1.13

Приложение 8. Обеспечение сотовой связью на участках транспортного коридора

На диаграммах, приведенных в данном приложении, уровень сигнала в точке маршрута показан цветом в соответствии со следующей легендой:



При этом за уровень сигнала принимается максимальный сигнал среди всех доступных станций всех операторов сотовой связи.

На всех диаграммах – две линии, параллельные маршруту. Верхняя линия, соответствует режиму GSM/GPRS. Нижняя линия соответствует режиму 3G.

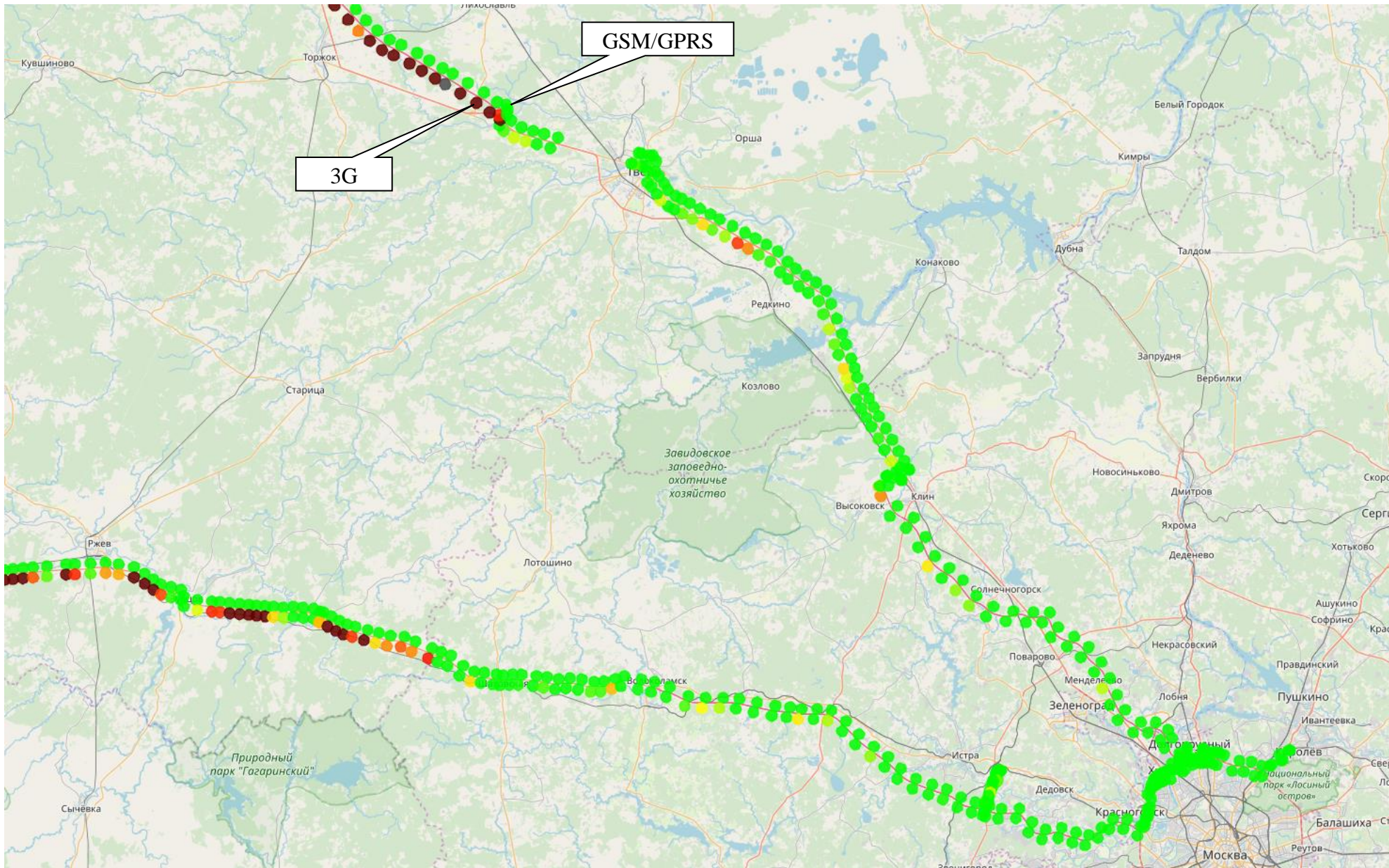


Рисунок 16 ПОКРЫТИЕ GSM/GPRS/3G. Все сотовые операторы. Фрагмент 1

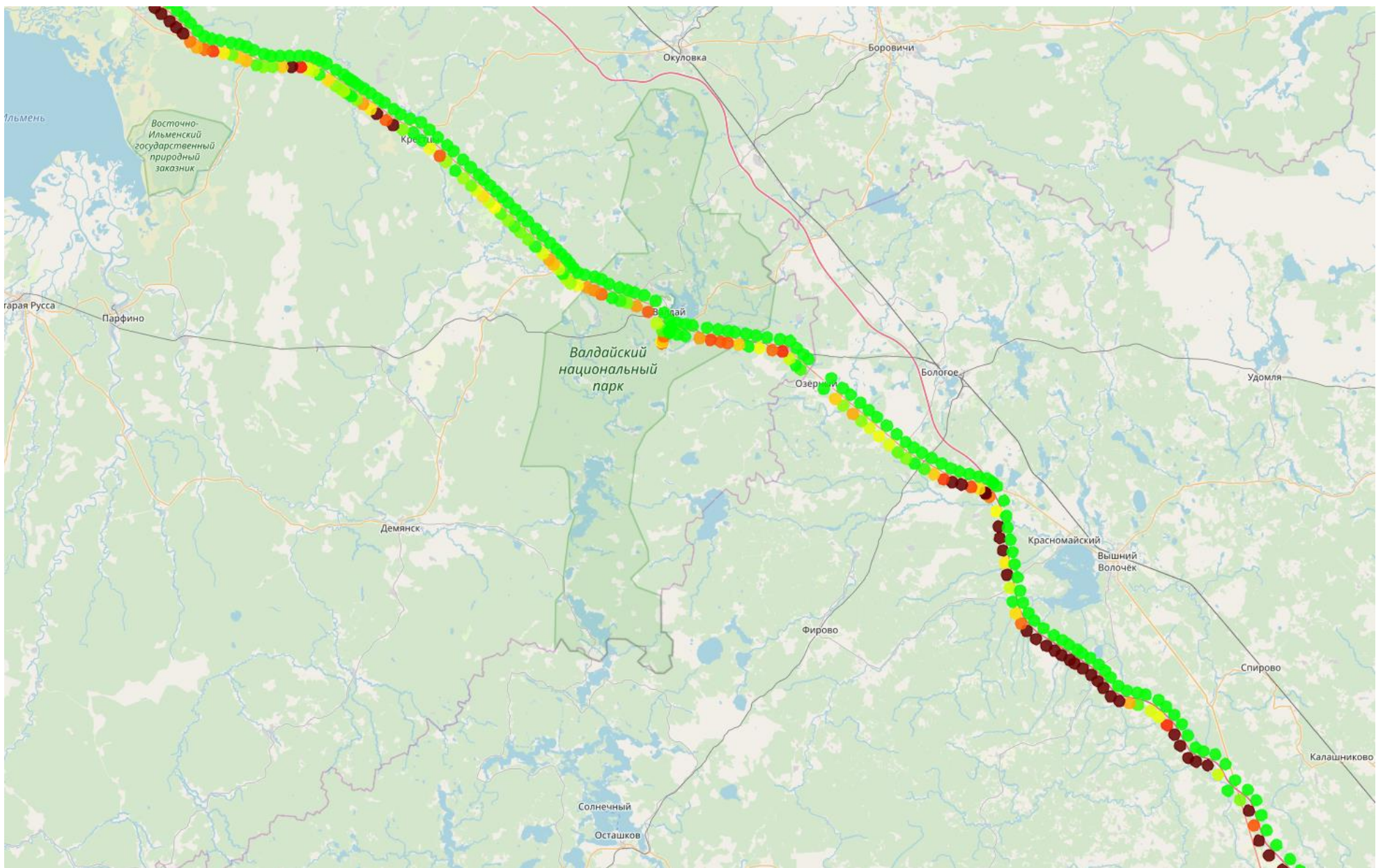


Рисунок 17 ПОКРЫТИЕ GSM/GPRS/3G. Все сотовые операторы. Фрагмент 2

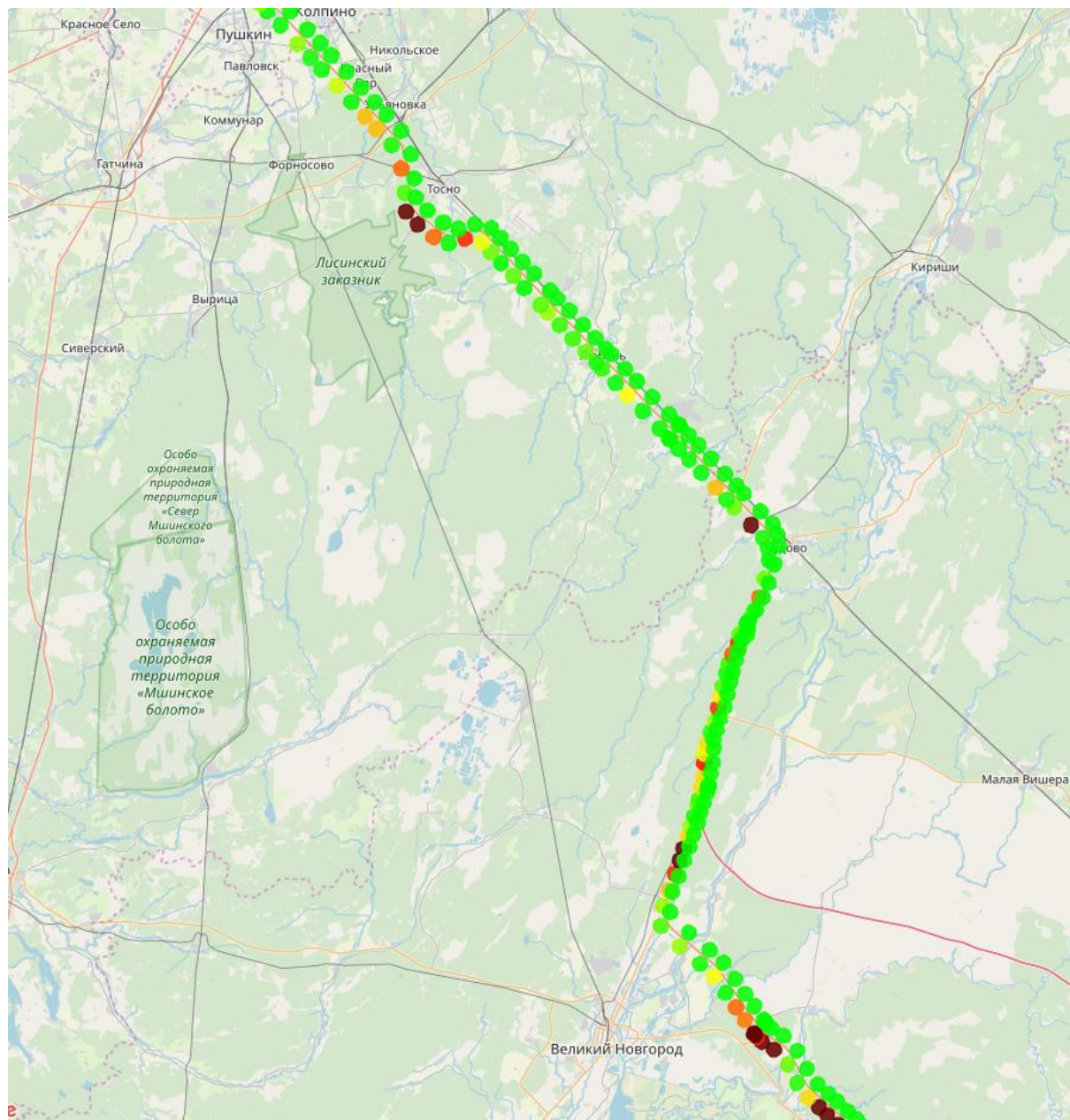


Рисунок 18 ПОКРЫТИЕ GSM/GPRS/3G. Все сотовые операторы. Фрагмент 3

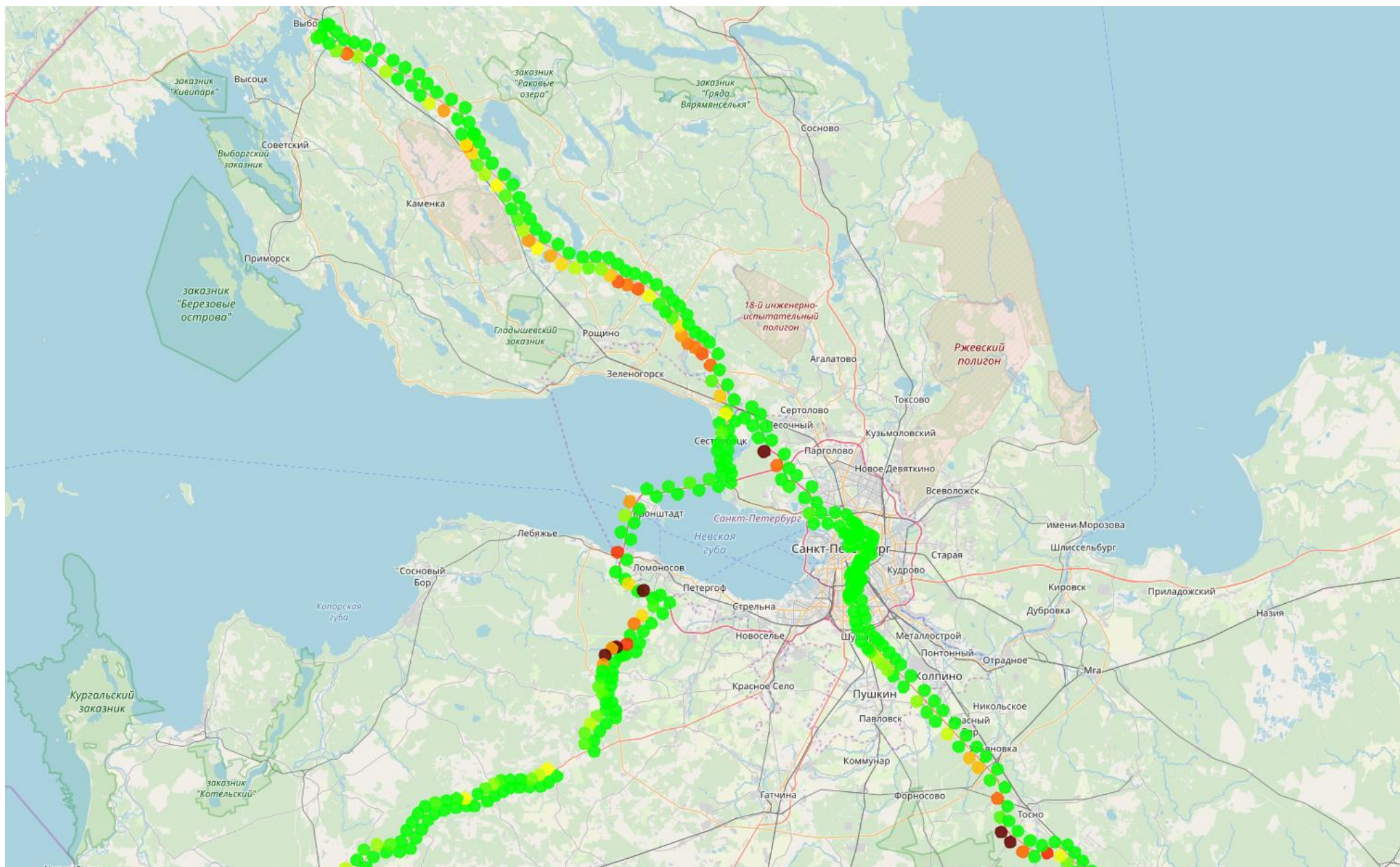


Рисунок 19 ПОКРЫТИЕ GSM/GPRS/3G. Все сотовые операторы. Фрагмент 4

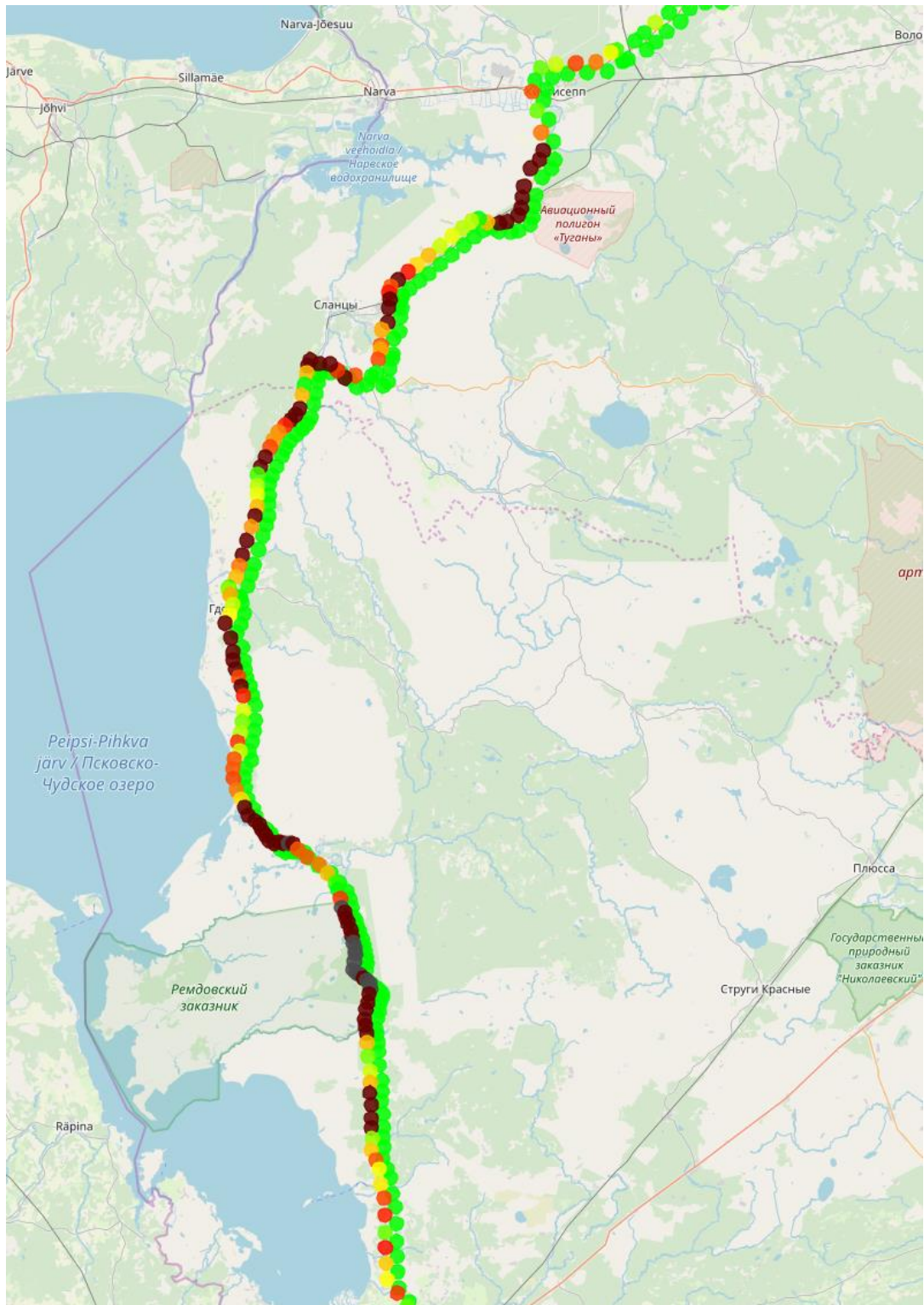


Рисунок 20 ПОКРЫТИЕ GSM/GPRS/3G. Все сотовые операторы. Фрагмент 5

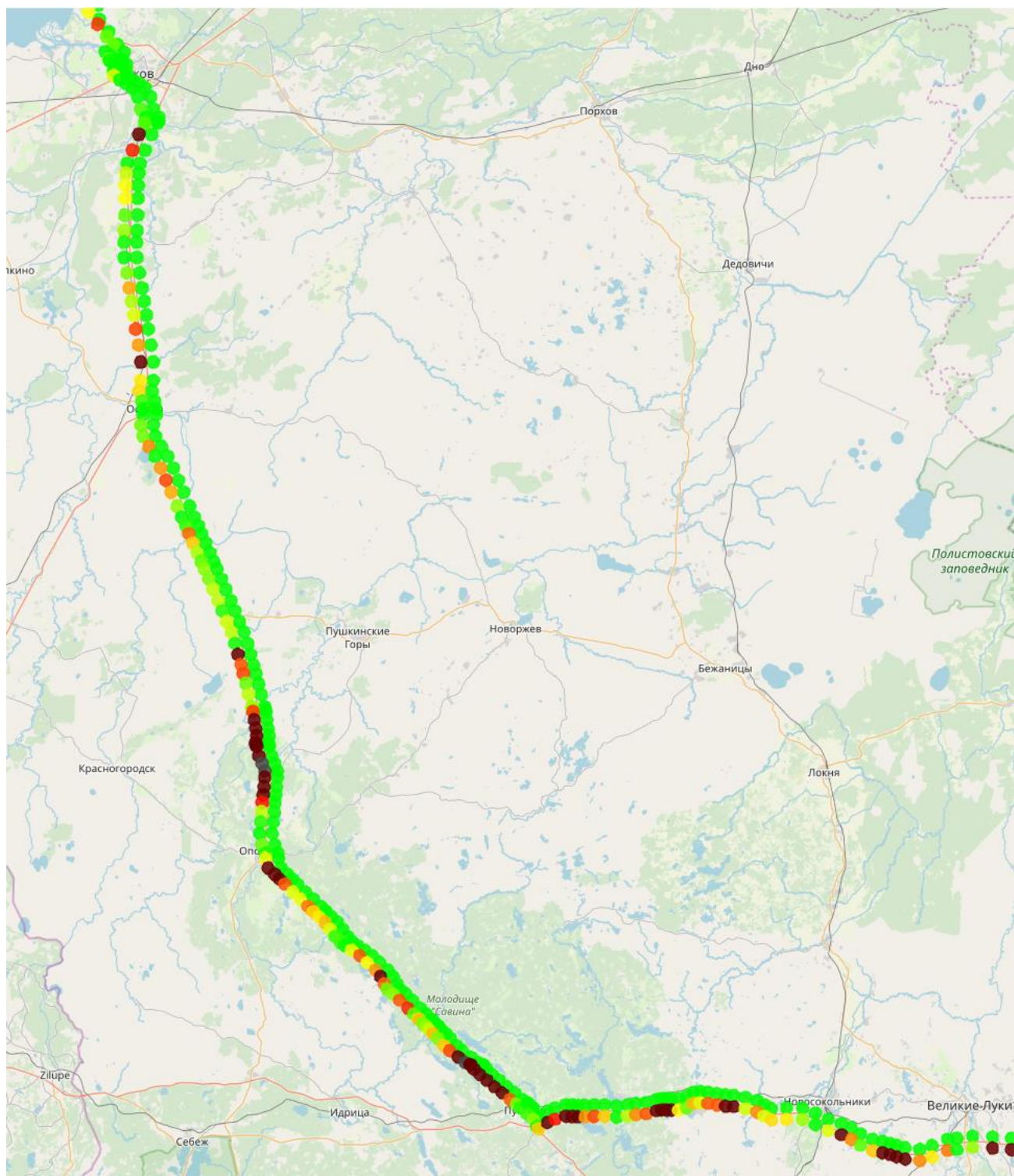


Рисунок 21 ПОКРЫТИЕ GSM/GPRS/3G. Все сотовые операторы. Фрагмент 6

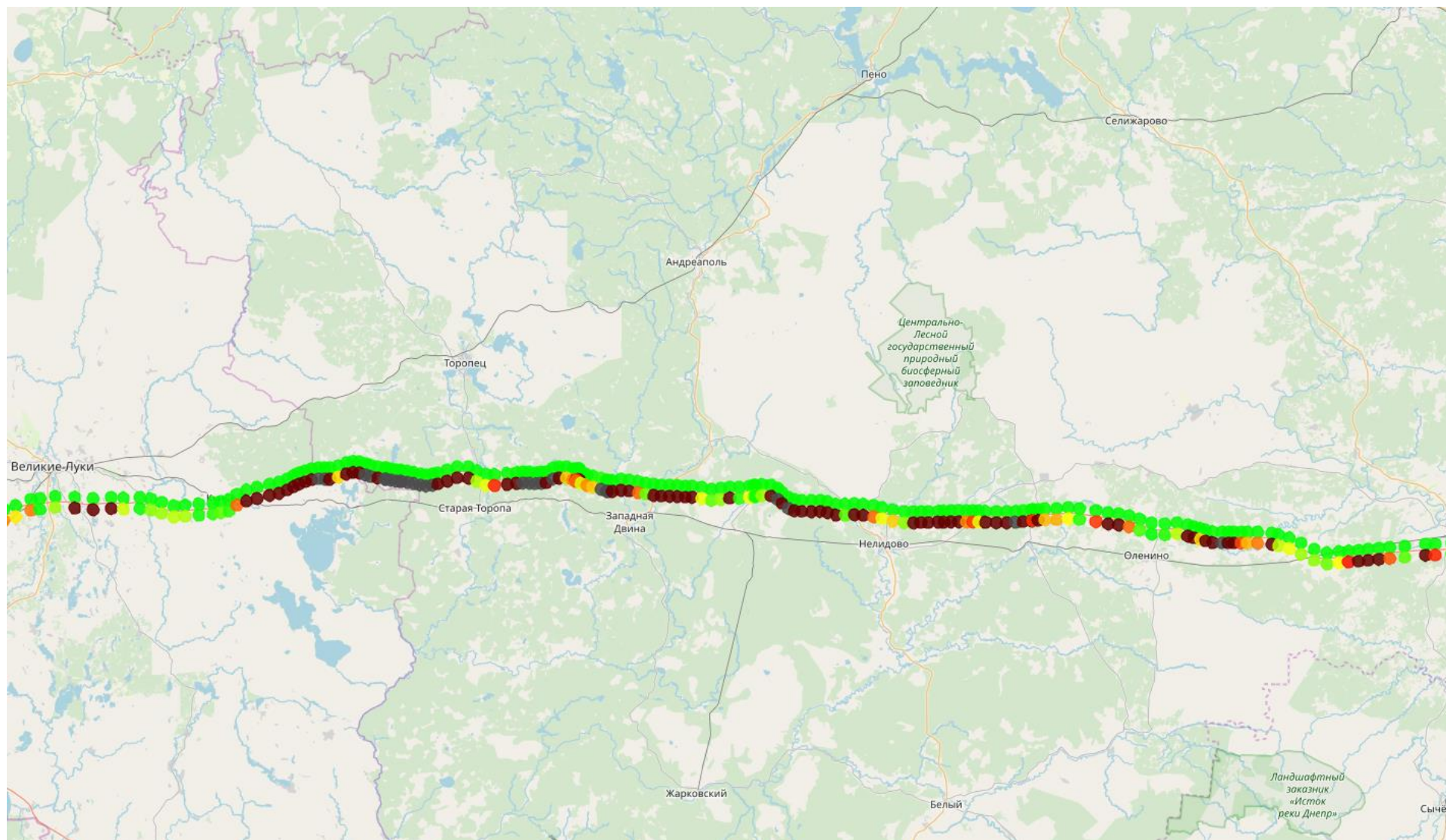


Рисунок 22 ПОКРЫТИЕ GSM/GPRS/3G. Все сотовые операторы. Фрагмент 7