



Дата: 02.10.2017

ПРОТОКОЛ № 3/2017
проведения испытаний с использованием
Мобильной измерительно-диагностической лаборатории (МИДЛ)

Содержание

	Лист
1 Цель испытаний.....	3
2 Время и место проведения испытаний.....	3
3 Средства проведения испытаний.....	7
4 Испытываемые образцы НАП.....	7
5 Определяемые показатели.....	7
6 Режимы испытаний.....	8
7 Последовательность испытаний.....	8
8 Результаты испытаний.....	8
8.1 Потребительские характеристики условий навигации по сигналам ГНСС.....	8
8.2 Оценка точности позиционирования НАП.....	10
8.3 Покрытие маршрута эксперимента сотовой связью.....	12
9 Выводы.....	16
Приложение 1. Графики условий навигации на участках маршрута.....	17
Приложение 2. Обеспечение сотовой связью маршрута испытаний.....	22

1 ЦЕЛЬ ИСПЫТАНИЙ

1.1 Натурные испытания навигационной аппаратуры потребителя (НАП) и сервисов высокоточного позиционирования, предоставляемых действующими функциональными дополнениями ГНСС ГЛОНАСС/GPS, используемых в системах управления движением поездов на железнодорожном транспорте. Для испытаний применяются образцы НАП, предназначенные для работы в режимах абсолютной и относительной высокоточной навигации с применением широкозонных функциональных дополнений ГНСС - Российской Системы Дифференциальной Коррекции и Мониторинга (СДКМ) и EGNOS, а также корректирующей информации от одиночно стоящих и объединенных в сеть базовых станций, предоставляющих поправки для работы в режиме Real Time Kinematic (RTK).

1.2 Тип испытаний – плановый рейд по свободному маршруту.

2 ВРЕМЯ И МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

2.1 Даты проведения испытаний - с 02.10.2017 по 06.10.2017.

2.2 Место проведения испытаний:

Испытания проводились на участках трассы Москва-Санкт-Петербург-Бусловская вдоль Октябрьской ЖД и на станции Лужская Ленинградской области.

Общая протяженность маршрута – 1800 км.

2.3 Основная часть маршрута прошла по автомагистрали «Россия» (Москва — Санкт-Петербург), являющейся частью российской автомобильной дороги федерального значения М10.

2.4 Маршрут эксперимента с разбивкой на участки показан на рисунках 1-3.

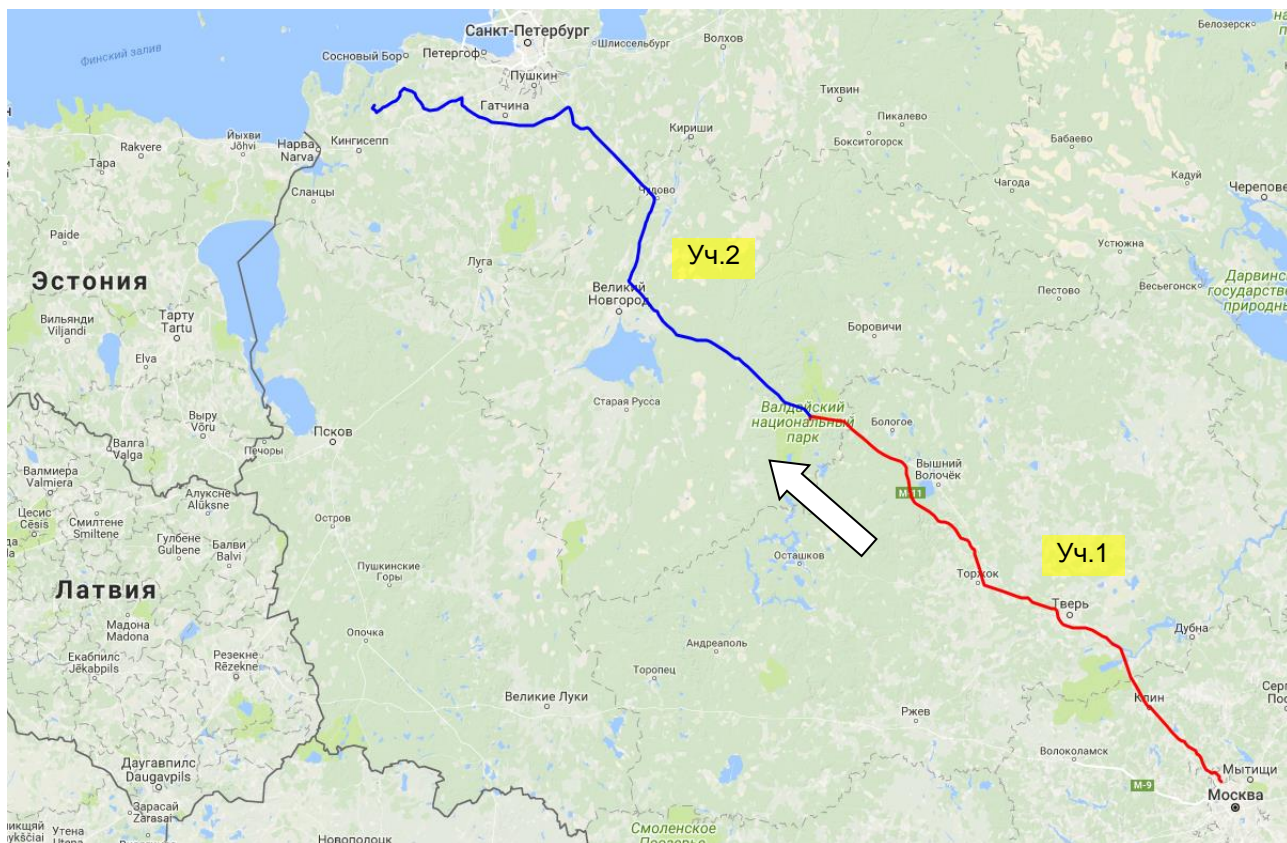


Рисунок 1 Маршрут вдоль Октябрьской ЖД в прямом направлении (участки 1-2)

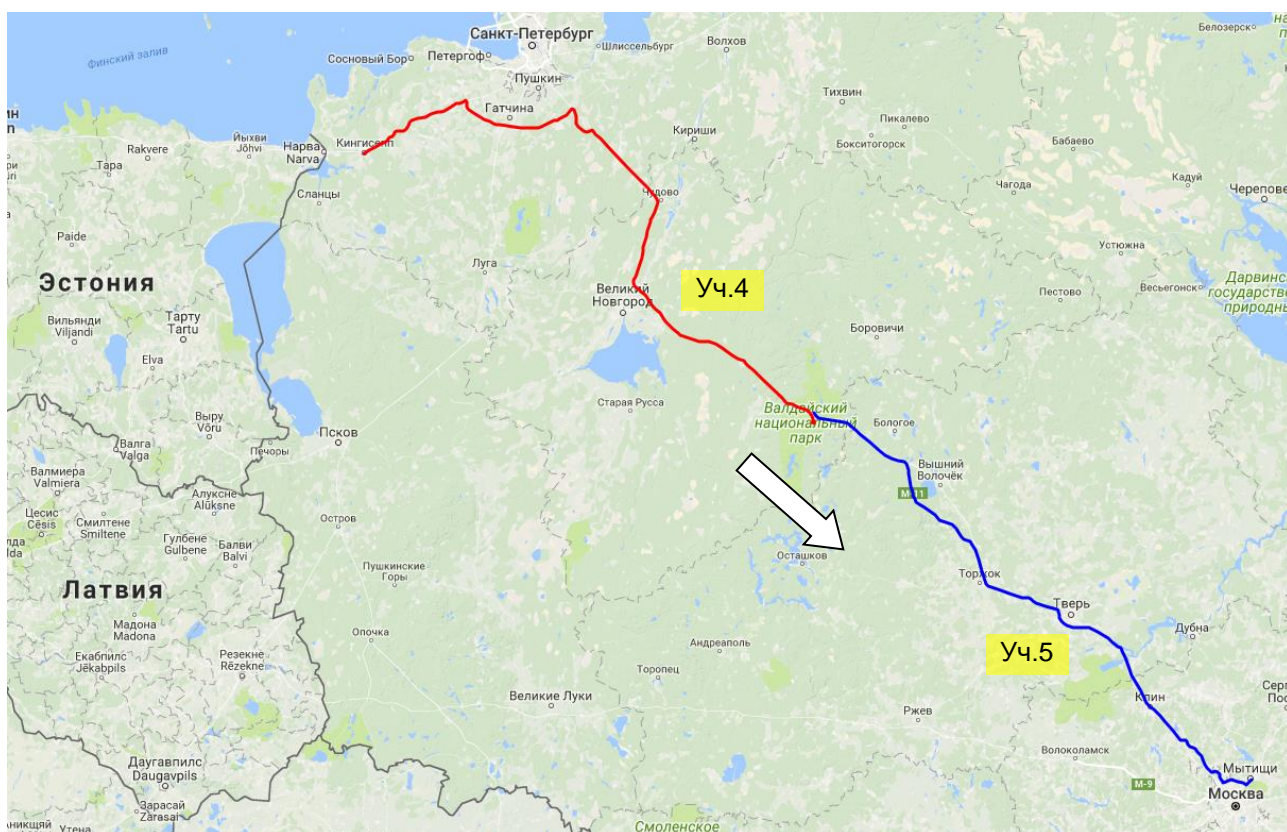


Рисунок 2 Маршрут вдоль Октябрьской ЖД в обратном направлении (участки 4-5)



Рисунок 3 Маршрут движения тепловоза на станции Лужская (участок 3)



Рисунок 4 МИДЛ на станции Лужская



Рисунок 5 Маневровый тепловоз, на котором устанавливались испытываемые образцы НАП

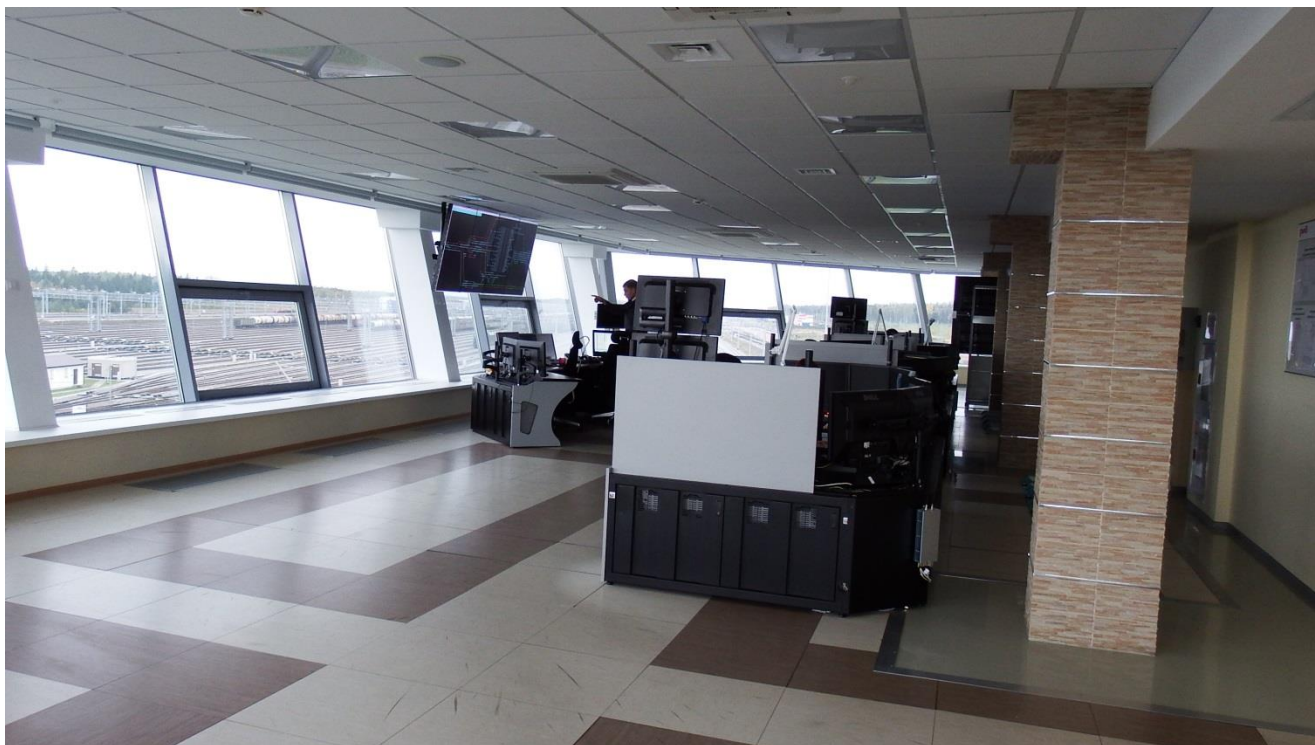


Рисунок 6 Диспетчерская станции Лужская

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

- НАП NV08C-CSM (АО «КБ Навис», г. Москва), версия ПО - CSM24 04.09 28/06/16, далее - NV08C.
- НАП NV08C-RTK (АО «КБ Навис», г. Москва) с активированной функцией СДКМ, версия ПО - NVS RTK PR28 CSM24 P314, далее - NV08C-СДКМ.
- НАП NV08C-RTK (АО «КБ Навис», г. Москва), версия ПО - NVS RTK 0029 CSM24 P314, далее - NV08C-RTK.

5 ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ

5.1 Потребительские характеристики ГНСС ГЛОНАСС / GPS:

- количество видимых навигационных космических аппаратов (НКА) каждой ГНСС при угле места не менее 15° ;
- геометрический фактор точности определения местоположения потребителя ГНСС в пространстве (PDOP) для каждой ГНСС при угле места не менее 15° .

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

6 РЕЖИМЫ ИСПЫТАНИЙ

6.1 НАП NV08C работала в режиме абсолютных местоопределений по ГЛОНАСС+GPS.

6.2 НАП NV08C-СДКМ работала по ГЛОНАСС+GPS и принимала корректирующую информацию (КИ) СДКМ (спутники RPN-125, RPN-140, RPN-141).

6.3 НАП NV08C-RTK работала по ГЛОНАСС+GPS+SBAS и принимала поправки RTK по одному из COM-портов. При движении по автодорогам поправки RTK принимались от сети станций Навгеоком – SmartNet Russia (<http://smartnet-ru.com>): в прямом направлении – в режиме поправок от виртуальной базовой станции (VRS), в обратном направлении – в режиме поправок от ближайшей базовой станции (NEAR). При движении по железнодорожным путям NV08C-RTK принимала поправки по радиоканалу от временной базовой станции RTK, реализованной также на базе NV08C-RTK, которая была развернута в помещении диспетчерской станции Лужская.

6.4 При движении по автодороге контрольное оборудование и испытываемые образцы НАП размещались на автомобиле МИДЛ. При испытаниях на станции Лужская мобильное оборудование размещалось на маневровом тепловозе ТЭМ7А-0534, стационарное - в помещении диспетчерской.

7 ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ИСПЫТАНИЙ

7.1 Перемещение МИДЛ по маршруту с регистрацией:

- первичных навигационных параметров с использованием контрольного навигационного приемника,
- данных местоопределений испытываемых НАП в формате NMEA,

7.2 Расчет локальных потребительских характеристик ГНСС на маршруте.

7.3 Расчет контрольных траекторий.

7.4 Расчет характеристик погрешности определения местоположения НАП по сигналам ГНСС и ФД ГНСС.

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 и PDOP для каждой из систем. Обе характеристики определялись при ограничении угла места выше 15° .

8.1.2 В приложении (Приложение 1) приведены графики указанных характеристик для участков маршрута.

8.1.3 В качестве интегральных характеристик условий навигации приняты среднее количество видимых НКА ГЛОНАСС/GPS, доля отсчетов, в которых количество НКА было не менее 4 и доля отсчетов, в которых значение PDOP не превышало 6.

8.1.3.1 Указанные интегральные характеристики для участков маршрута и итоговые значения приведены в таблице 1.

Таблица 1 Характеристики условий навигации на маршруте испытаний

Участок	Среднее кол-во видимых НКА			Доля отсчетов с кол-вом НКА ≥ 4			Доля отсчетов с PDOP < 6		
	ГЛОНАСС	GPS	ГЛОНАСС + GPS	ГЛОНАСС	GPS	ГЛОНАСС + GPS	ГЛОНАСС	GPS	ГЛОНАСС + GPS
1	7.0	8.5	15.6	99.7%	100.0%	100.0%	98.9%	99.9%	100.0%
2	6.8	9.0	15.7	100.0%	100.0%	100.0%	99.3%	99.9%	100.0%
3	7.1	8.4	15.5	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
4	7.1	8.6	15.6	99.8%	98.4%	99.8%	99.0%	98.4%	99.7%
5	7.0	8.8	15.8	99.6%	99.7%	99.8%	99.6%	99.7%	99.7%
Итого	7.0	8.6	15.6	99.9%	99.7%	99.9%	99.5%	99.6%	99.9%

8.1.4 Диаграммы, иллюстрирующие условия навигации по ГЛОНАСС/GPS показаны на рисунках 7-8.

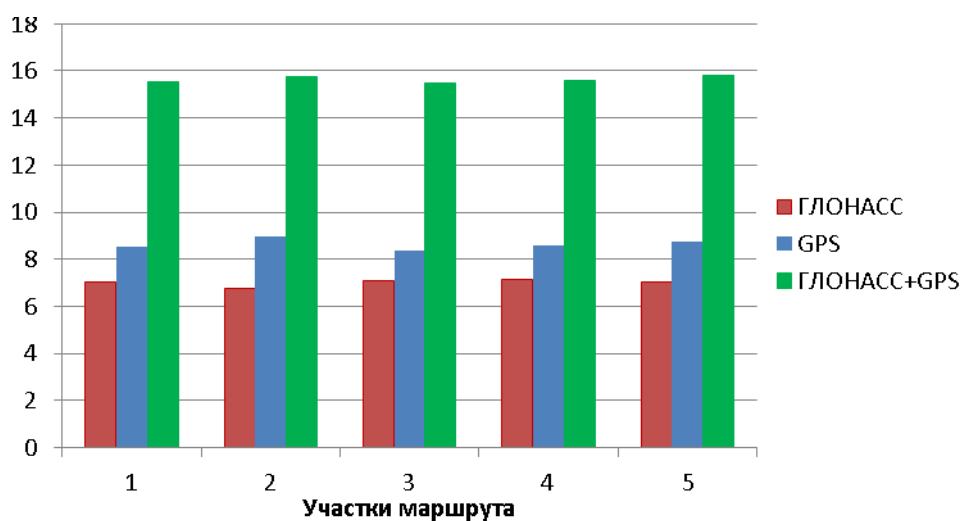


Рисунок 7 Среднее число видимых НКА ГЛОНАСС/GPS на участках маршрута

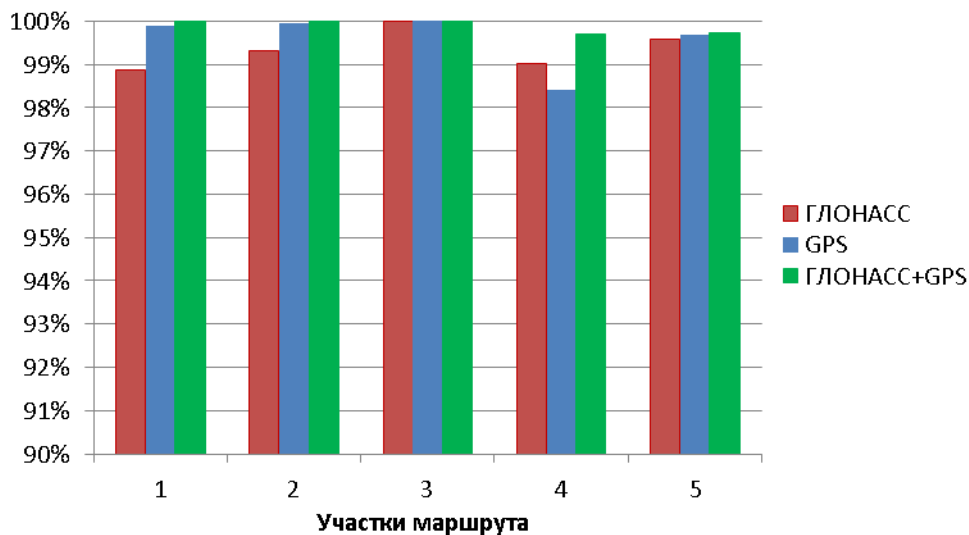


Рисунок 8 Доля отсчетов с PDOP<6 для ГЛОНАСС/GPS на участках маршрута

8.2 Оценка точности позиционирования НАП

8.2.1 Оценка точности позиционирования НАП проводилась путем сравнения показаний испытываемых образцов НАП с контрольными траекториями, построенными при постобработке относительным методом с использованием данных станций сбора навигационных измерений – MDVJ, METS, MOBK, RIGA, SVTL, RSPB.

8.2.2 Количественные характеристики точности позиционирования испытанных образцов НАП при работе по сигналам различных ГНСС приведены в таблице 2.

Таблица 2 Характеристики точности позиционирования НАП на участках маршрута испытаний

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		
NV08C										
1	2.37	1.94	3.98	6.91	2.25	1.17	2.84	22.06	14 995	1.04
2	2.30	1.74	3.77	6.76	1.45	1.05	2.77	3.61	15 785	1.07
3	3.82	3.79	5.19	6.15	4.71	1.20	12.25	24.39	5 063	1.06
4	2.12	1.23	4.51	5.96	1.97	1.36	3.72	4.93	21 962	1.05
5	2.56	1.48	3.60	6.53	2.10	1.77	3.31	7.33	17 386	1.05
Итого	2.42	1.71	4.08	6.46	2.13	1.34	3.82	9.93	75 191	1.05
NV08C-СДКМ										
1	2.12	1.30	3.61	12.61	2.07	1.37	2.97	12.06	14 907	1.14
2	2.43	2.00	4.03	6.58	1.17	0.96	1.69	2.38	15 282	1.13
3	3.10	3.31	4.45	4.91	0.82	0.70	1.45	1.89	4 625	1.08
4	2.12	1.25	4.60	6.30	1.48	0.90	2.57	6.95	21 914	1.14
5	1.97	0.86	2.97	8.67	1.51	1.18	2.26	5.98	17 386	1.10
Итого	2.21	1.45	3.89	8.10	1.50	1.06	2.33	6.49	74 114	1.12
NV08C-RTK										
1	1.25	0.51	2.72	4.67	2.77	0.33	1.44	24.66	15 684	1.40
2	2.84	2.21	4.35	14.21	1.32	0.93	1.96	7.97	12 904	1.14
3	1.31	1.30	1.51	2.16	1.72	1.79	1.96	2.00	4 651	1.19
4	2.09	1.46	4.36	6.79	4.74	1.06	3.34	28.16	21 291	1.14
5	2.17	1.05	3.56	6.79	3.24	1.24	2.98	21.70	16 984	1.16
Итого	2.01	1.28	3.62	7.36	3.14	0.97	2.50	20.51	71 514	1.21

8.2.3 Доли навигационных определений, полученных NV08C-RTK в различных режимах, показаны в таблице 3

Таблица 3 Доли навигационный определений, полученных NV08C-RTK в различных режимах

Участок	Абсолютный	DGPS	RTK-float	RTK-fixed
1	8%	40%	18%	34%
2	33%	67%	0%	0%
3	0%	16%	2%	82%
4	30%	67%	2%	0%
5	21%	69%	9%	1%

8.2.4 Итоговые предельные погрешности местоопределений НАП в плане и по высоте по уровню вероятности 0.5 и 0.95 приведены в виде диаграмм на рисунках 9 и 10.

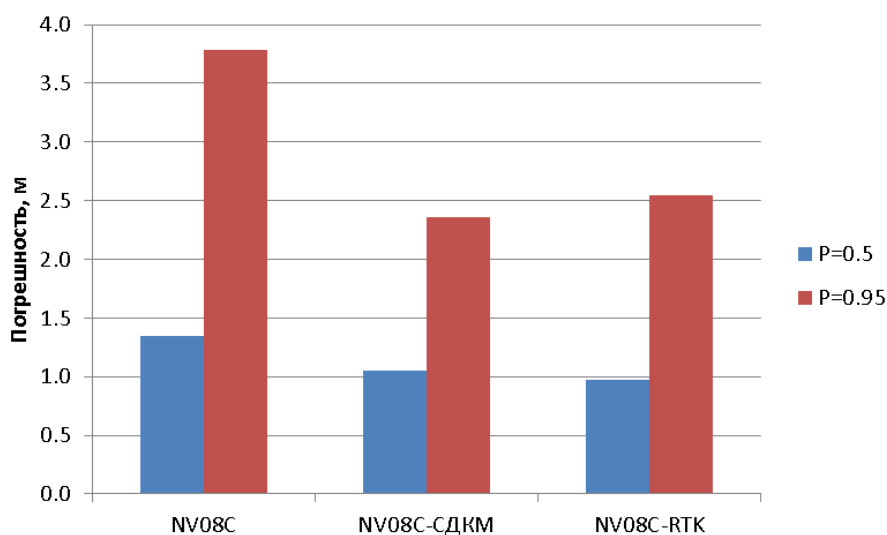


Рисунок 9 Итоговые предельные погрешности НАП в плане

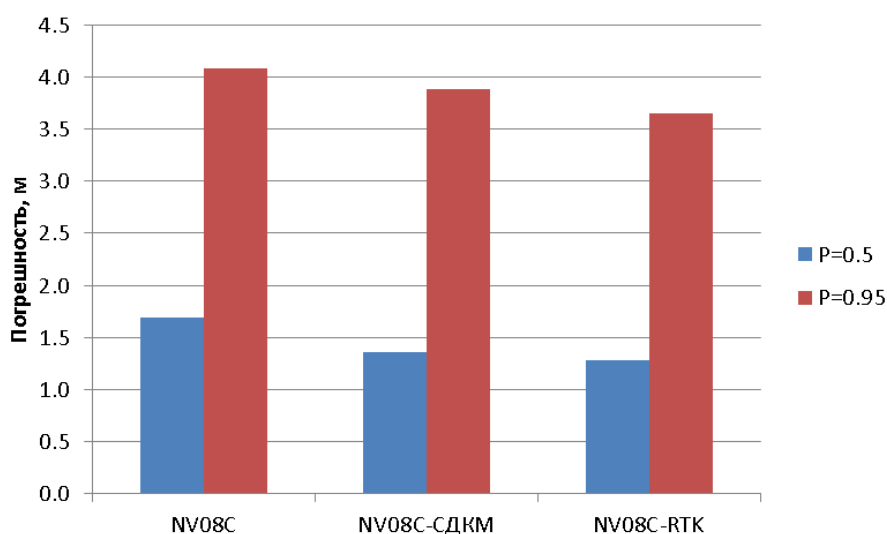


Рисунок 10 Итоговые предельные погрешности НАП по высоте

8.2.5 На рисунке 11 приведены графики ошибок NV08C в плане и по высоте от времени. На графике ошибок в плане видны характерные пиковые выбросы ошибок в

определенные моменты времени. Анализ показал, что эти моменты соответствуют началу движения тепловоза после остановки.

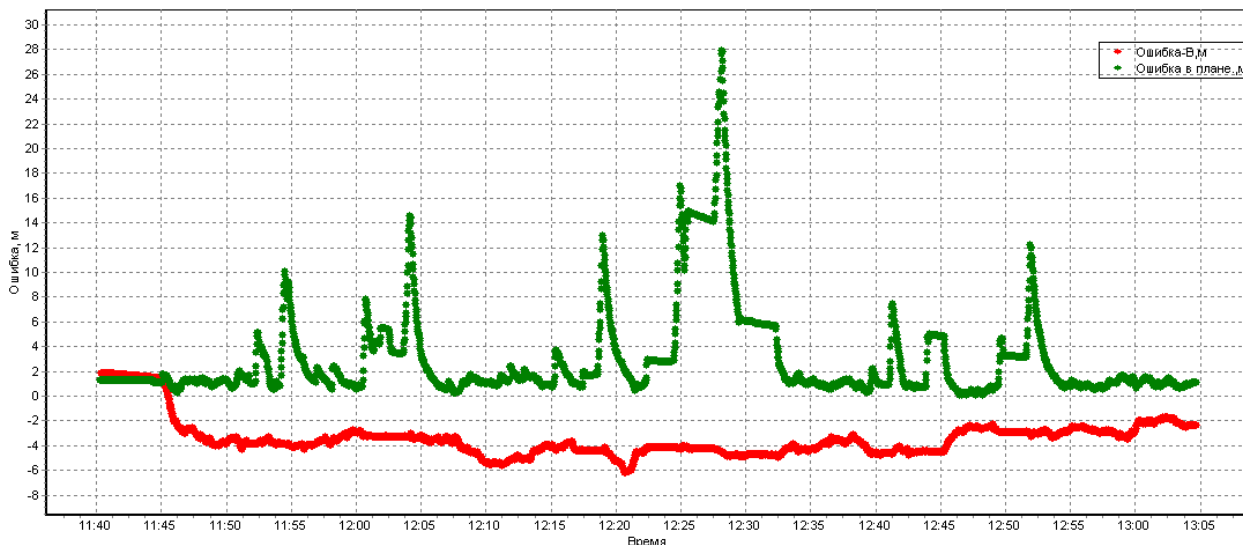


Рисунок 11 График ошибок в плане (зеленая линия) и по высоте (красная линия) НАП NV08C на участке 3

8.2.6 На рисунке 12 приведены графики долготы контрольной траектории (зеленая линия) и NV08C (красная линия) в период возрастания ошибки в плане у NV08C. Хорошо видно, что NV08C продолжает «стоять на месте» около 20с после фактического начала движения тепловоза. Такая же картина наблюдается и в другие периоды возрастания ошибок. Очевидно это - последствия программной фильтрации навигационных данных в приемнике.

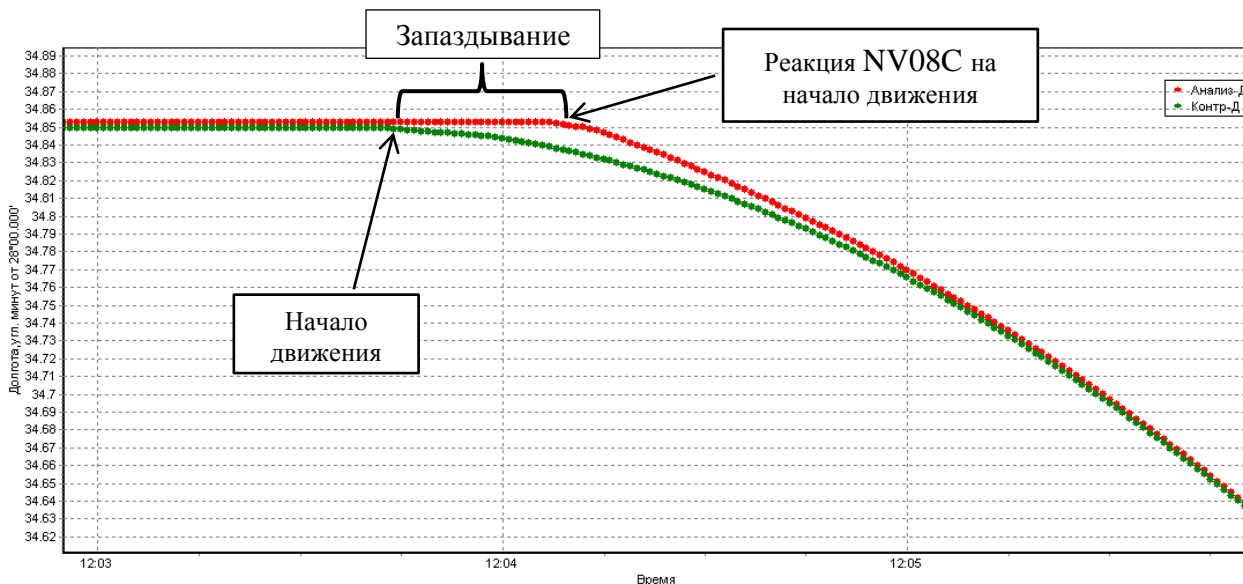


Рисунок 12 График долготы контрольной траектории (зеленая линия) и NV08C (красная линия) в период возрастания ошибки в плане NV08C

8.2.7 На рисунке 13 приведены графики ошибок NV08C-СДКМ. Из графиков видно, что проблемы, характерной для NV08C, у данной НАП не наблюдается. Однако анализ показал, что показания NV08C-СДКМ сдвинуты на 1с вперед. При расчетах вводилась корректировка показаний на -1с.

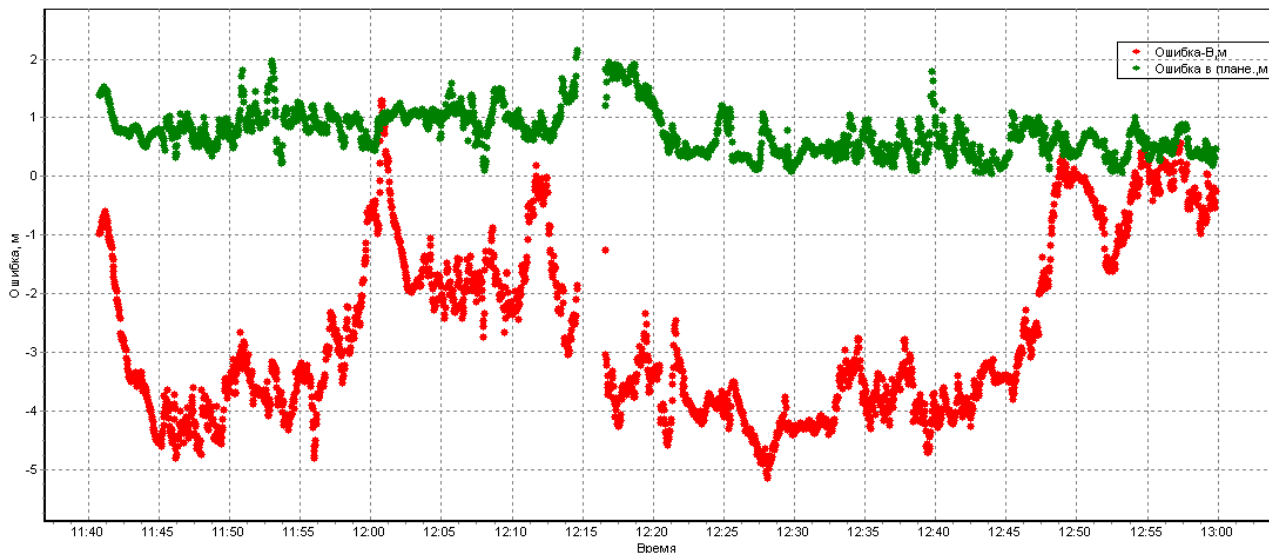


Рисунок 13 График ошибок в плане (зеленая линия) и по высоте (красная линия) НАП NV08C-СДКМ на участке 3

8.2.8 На рисунке 14 приведены графики ошибок NV08C-RTK. Боковые ветви графика соответствуют работе приемника в режиме RTK. В центре графика отчетливо выделяется интервал, когда приёмник работал в режиме DGPS (в 12:13:41 приёмник перестал работать в RTK, в 12:26:17 был перезагружен и вернулся в RTK). На графике видно, что при работе в RTK ошибка практически не меняется и находится на уровне 2м.

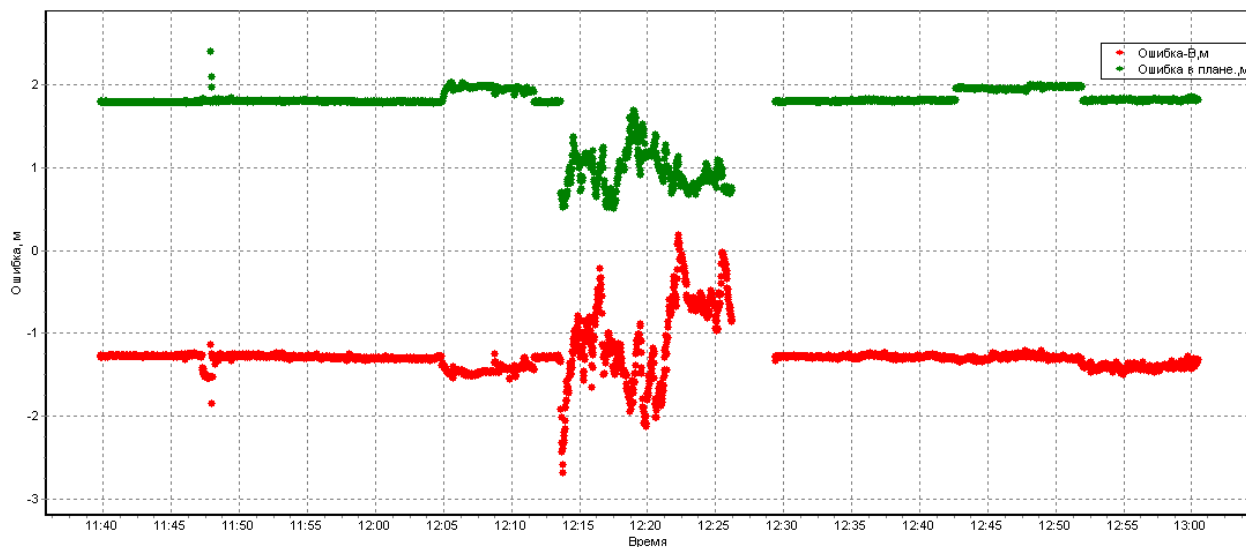


Рисунок 14 График ошибок в плане (зеленая линия) и по высоте (красная линия) НАП NV08C-RTK на участке 3

8.2.9 Анализ показал, что вся траектория в RTK сдвинута относительно контрольной траектории в одну сторону на это расстояние (рисунок 15). Очевидно, причина этого - в погрешности определения координат базовой станцией RTK. При сравнении координат базы, определенных базовым приемником на интервале усреднения 15 мин., с результатами, полученными при постобработке первичных данных, записанных с той же антенны, видно расхождение, соответствующее сдвигу траектории (см. рисунок 16).

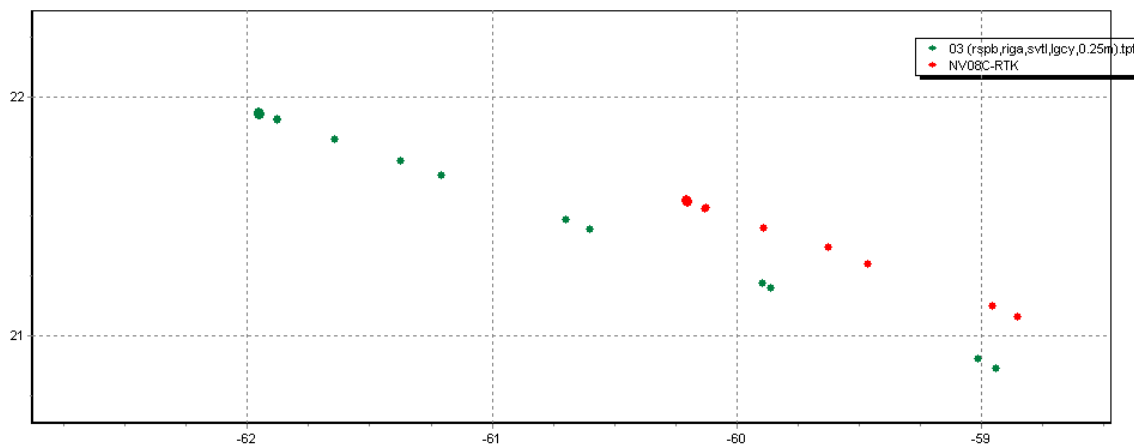


Рисунок 15 Фрагменты траекторий: НАП NV08C-RTK (красные точки), контрольная траектория (зеленые точки); местная система координат, м

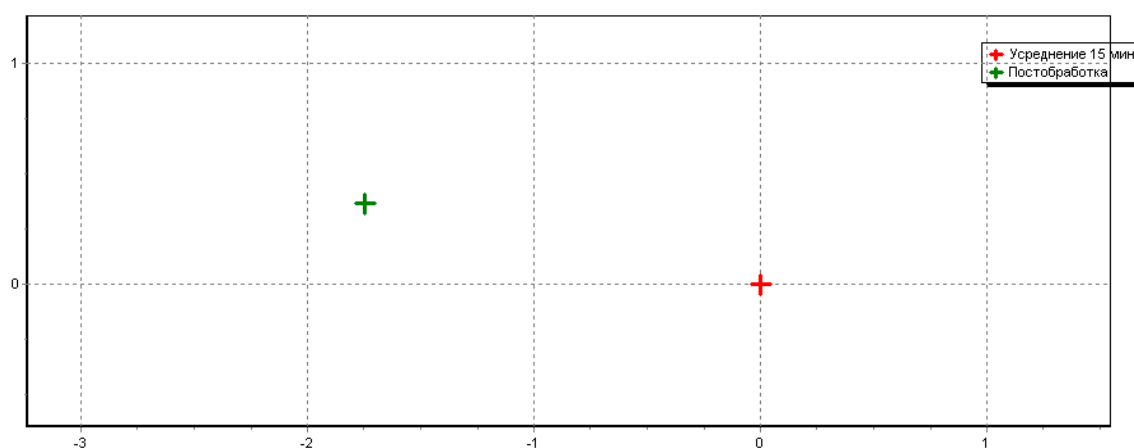


Рисунок 16 Координаты базовой антенны, полученные усреднением при испытаниях (красная отметка) и при постобработке (зеленая отметка); местная система координат, м

8.2.10 Повышенная погрешность определения координат базы может быть следствием недостаточного времени усреднения и/или влиянием конструкций на крыше здания, где была установлена временная базовая антенна. При стационарном размещении антенны и задании ее точных координат ошибки NV08C-RTK могут быть сокращены до нескольких сантиметров.

8.3 Покрывание маршрута эксперимента сотовой связью

8.3.1 В таблице 4 перечислены сотовые операторы, сигнал от базовых станций которых был зарегистрирован в процессе испытаний.

Таблица 4 Сотовые операторы на маршруте эксперимента

PLMN-код	Оператор сотовой связи
25001	МТС
25002	Мегафон
25099	Билайн
25020	Tele2
25039	Uraltel
25010	Донтелеком
25009	Дельта Телеком

8.3.2 Покрытие маршрута эксперимента сотовой связью в режиме GSM/GPRS составило 100%, в режиме 3G – 97%.

8.3.3 Карты покрытия маршрута эксперимента сотовой связью в различных режимах приведены в приложении (Приложение 2).

9 ВЫВОДЫ

9.1 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 маршрута эксперимента. При достаточно жестком ограничении по углу места – больше 15° условия навигации были хорошими (PDOP<6) по ГЛОНАСС в 99.5% случаев, по GPS - в 99.6% случаев, по совмещенной системе – в 99.9% случаев.

9.2 Все испытанные образцы НАП показали точность позиционирования, достаточную для уверенной навигации по сигналам ГНСС.

9.3 Испытания подтвердили, что использование функциональных дополнений ГНСС, таких как SBAS, СДКМ, RTK-поправки от одиночных базовых станций и сетей базовых станций в условиях, приближенных к реальным условиям эксплуатации на ЖД-транспорте, улучшают точность позиционирования.

9.4 Особенно значительное улучшение точности позиционирования наблюдалось при испытаниях на маневровом тепловозе. Так НАП, работавшая в абсолютном режиме, имела в отдельные моменты ошибки в плане порядка 25м и итоговую погрешность по уровню вероятности 0.95 около 12м. Анализ показал, что такой высокий уровень ошибки – следствие применения программного фильтра, предназначенного для применения на другом – автомобильном виде транспорта. В этих же условиях у НАП, работавшей по сигналам СДКМ, ошибки не превышали 2.2м, а итоговая погрешность по уровню вероятности 0.95 была около 1.5м. (при корректировке времени показаний на -1с). У НАП, принимавшей RTK-поправки от базовой станции, оба значения - менее 2м. При этом ошибки этой НАП могут быть сокращены до нескольких сантиметров при указании точных координат базовой станции.

9.5 При получении поправок от сети Навгеоком наблюдались значительные интервалы, когда НАП не переходила в режим RTK. Вероятно, это вызвано недостаточно плотным покрытием станциями сети Навгеоком маршрута эксперимента. При этом на участке 1, где доля RTK-определений была наибольшей, наблюдалось улучшение точности позиционирования в плане в 2 раза по сравнению с абсолютным режимом (с 2.84м до 1.44м при P=0.95).

9.6 Покрытие маршрута эксперимента сотовой связью в режиме GSM/GPRS составило 100%, в режиме 3G – 97%

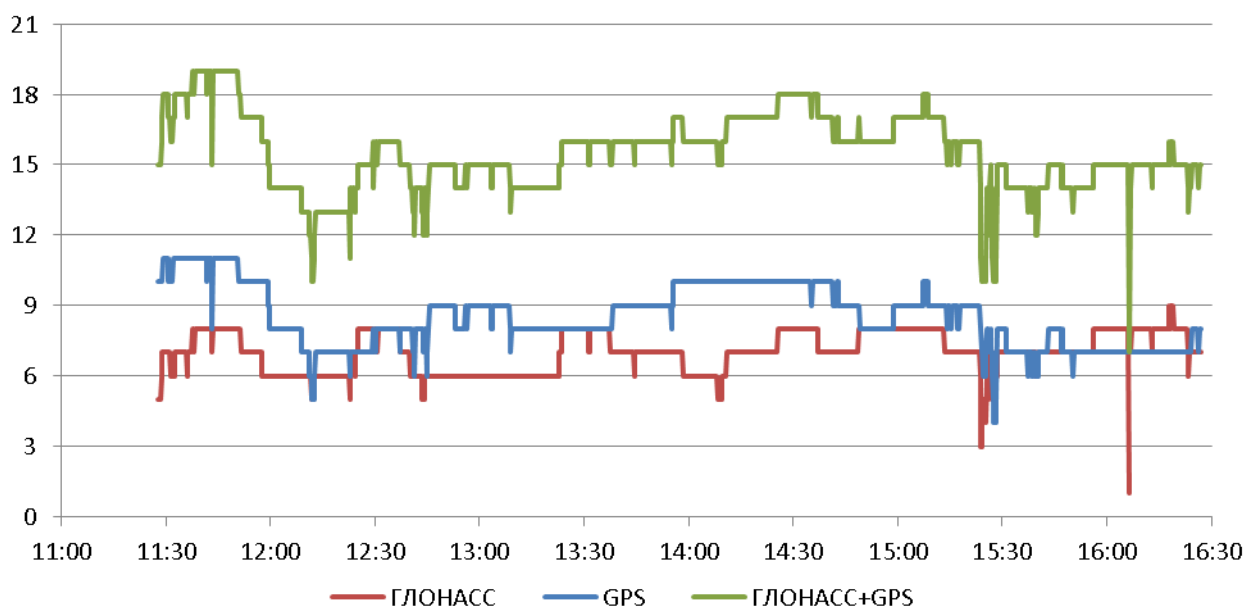
И.о. начальника лаборатории отд. 3041

В.Л.Лапшин

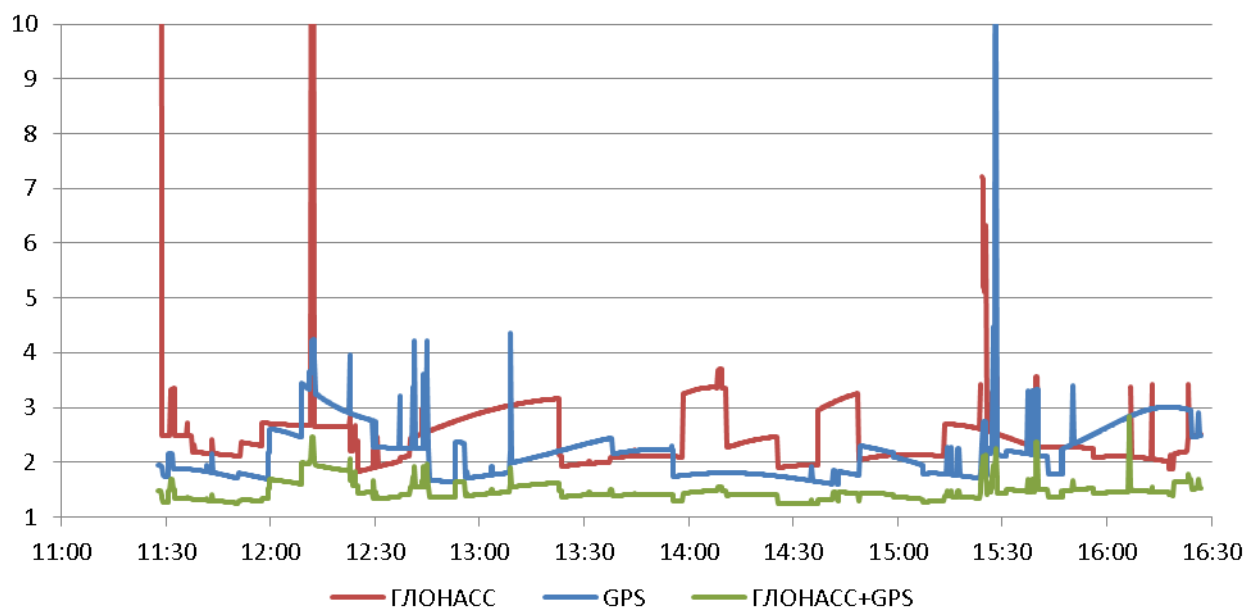
Приложение 1. Графики условий навигации на участках маршрута

Участок 1

Количество видимых НКА¹



PDOP²

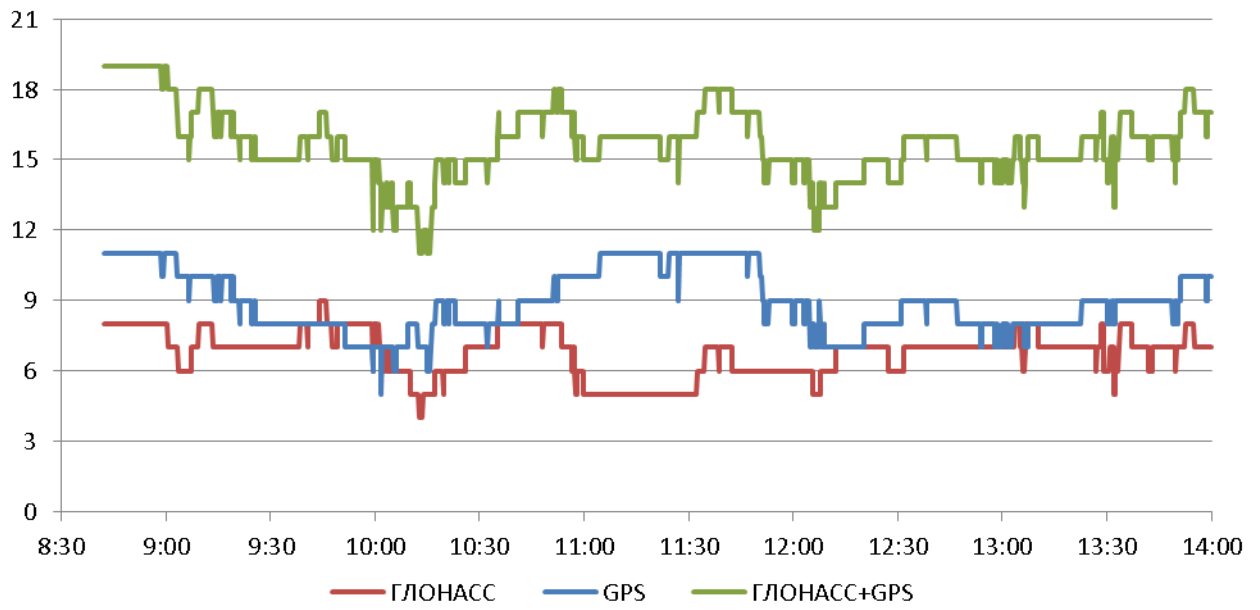


¹ Здесь и далее количество видимых НКА указано для углов места не менее 15°

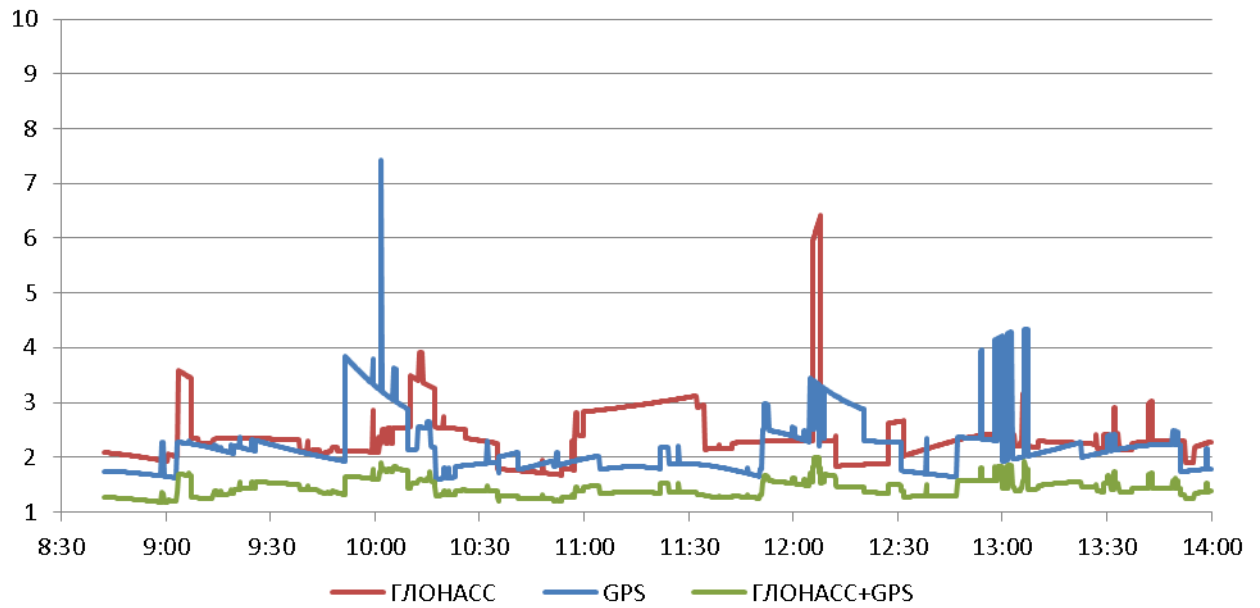
² Здесь и далее PDOP рассчитан по НКА с углами места не менее 15°

Участок 2

Количество видимых НКА

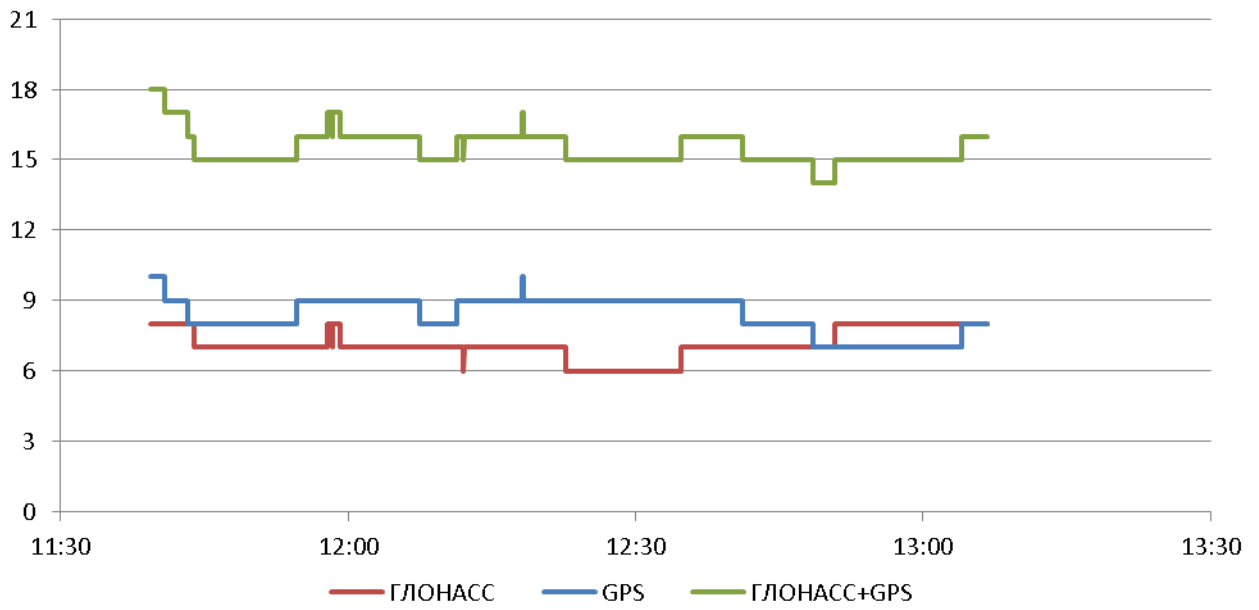


PDOP

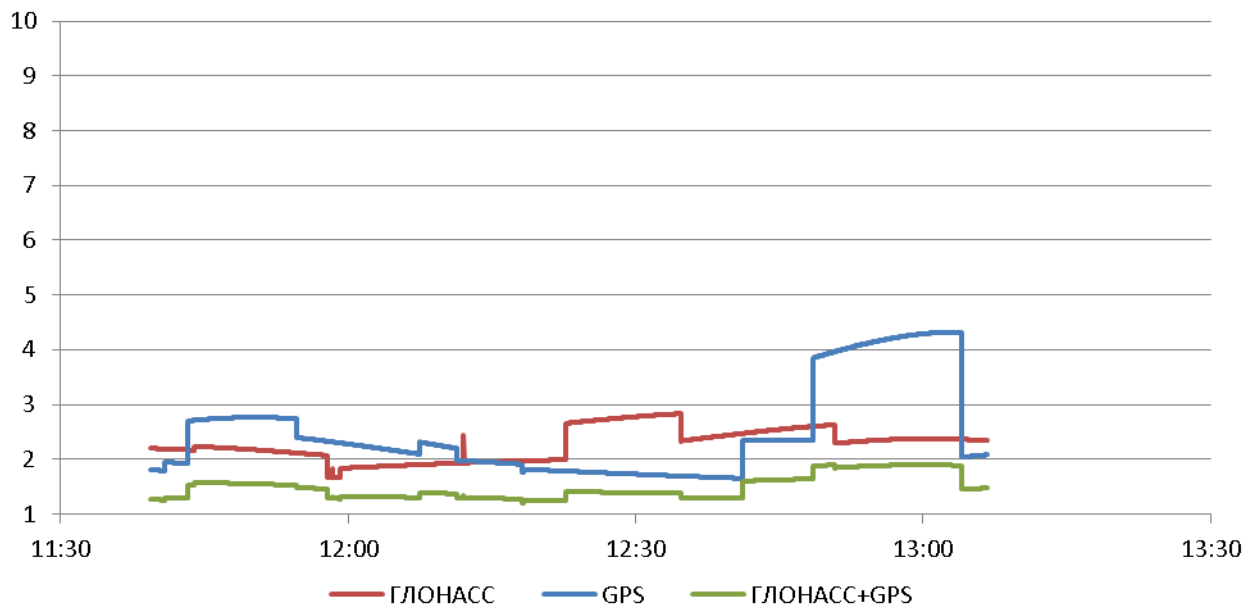


Участок 3

Количество видимых НКА

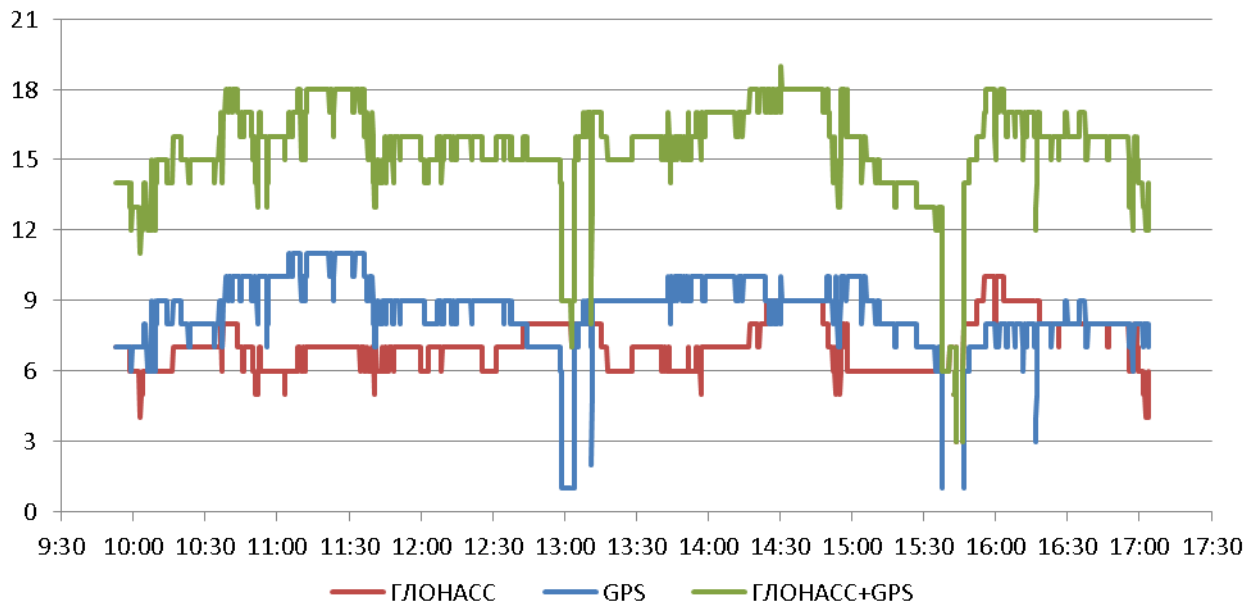


PDOP

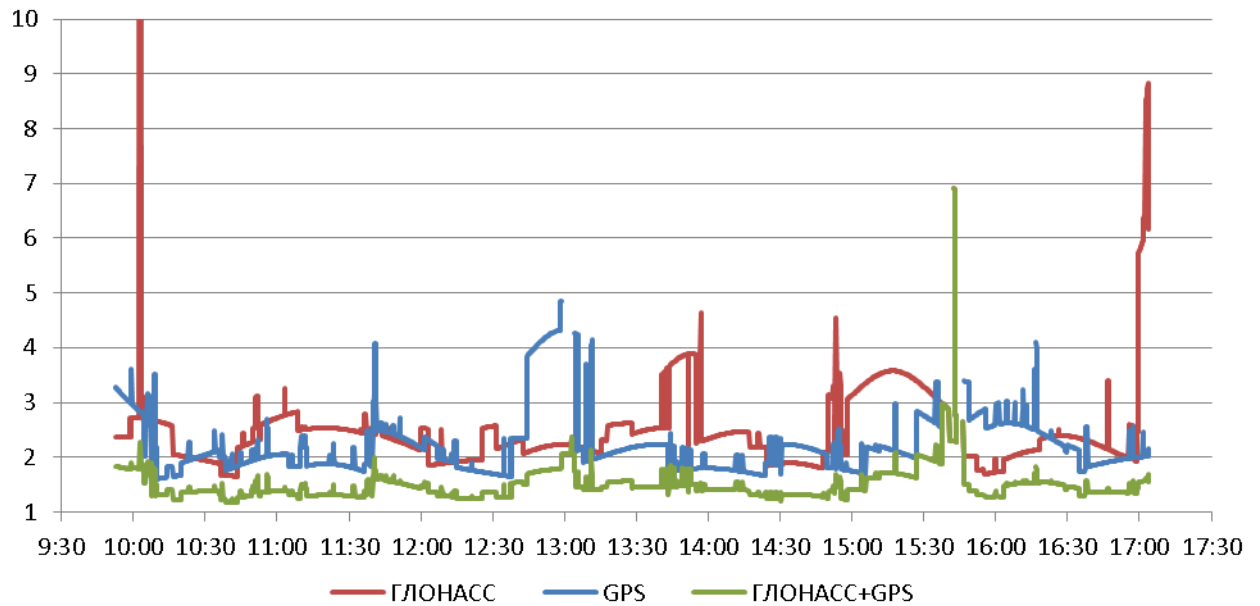


Участок 4

Количество видимых НКА

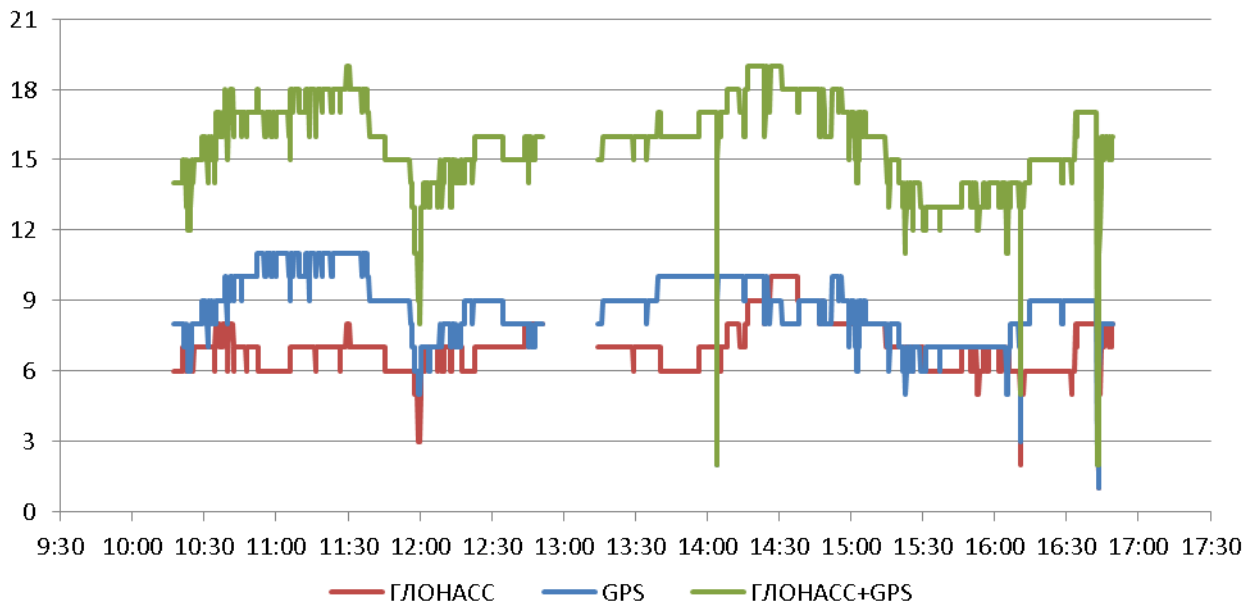


PDOP

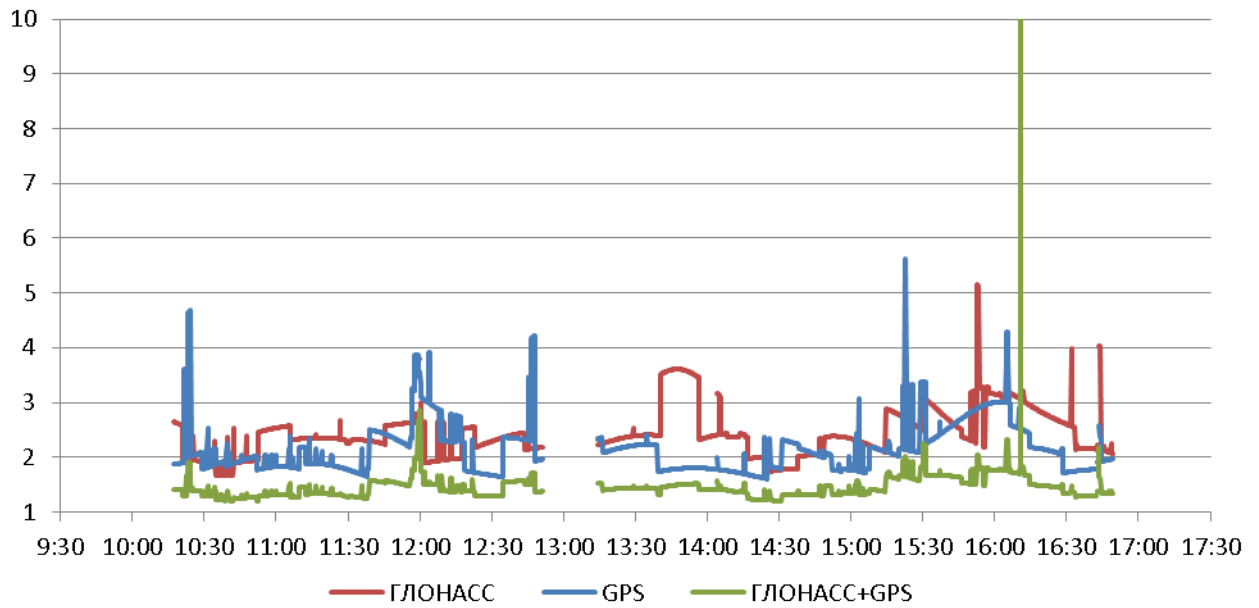


Участок 5

Количество видимых НКА

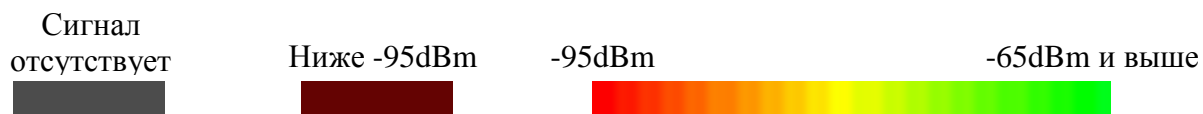


PDOP



Приложение 2. Обеспечение сотовой связью маршрута испытаний

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.

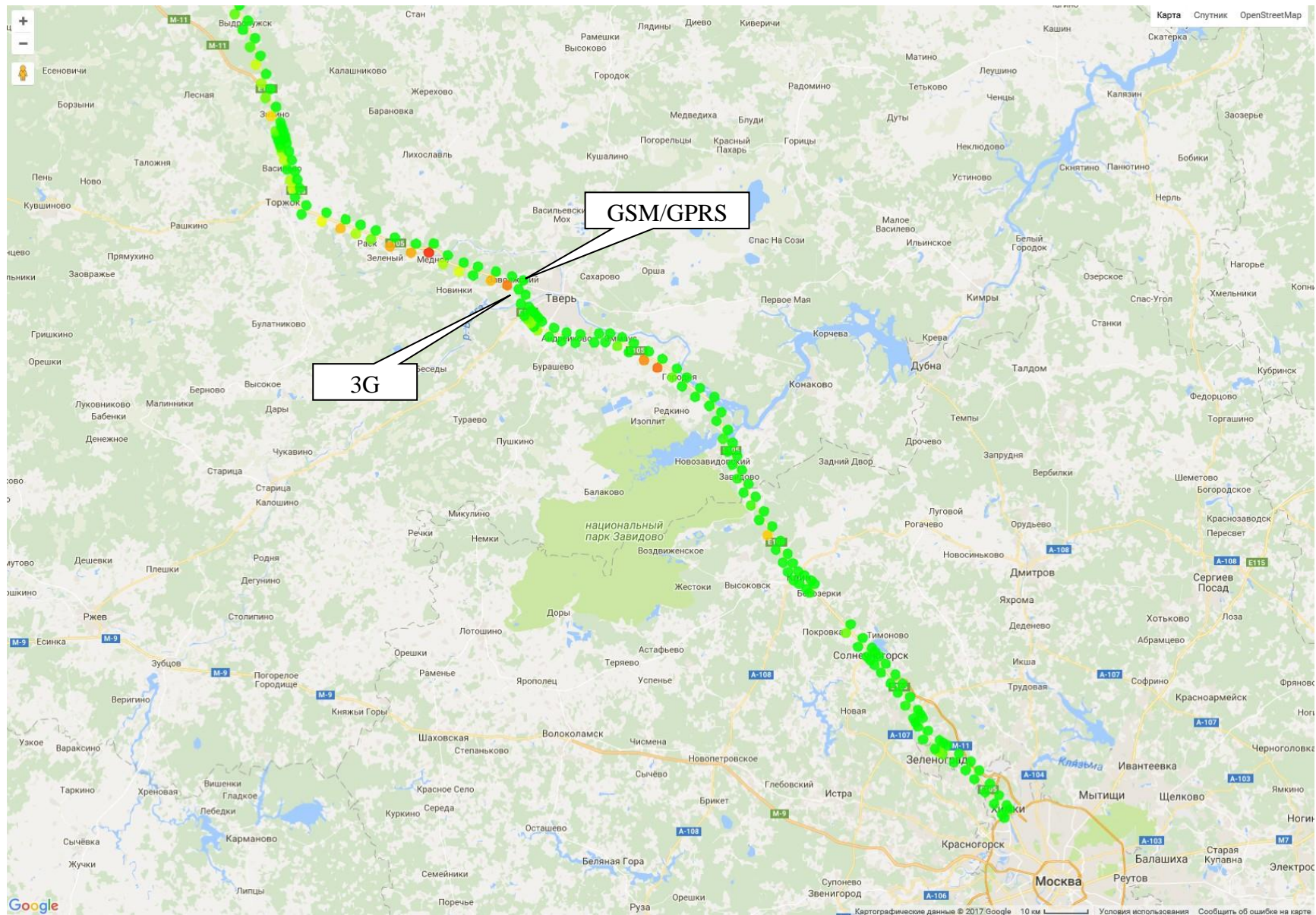


Рисунок 17 Покрытие GSM/GPRS/3G. Фрагмент 1

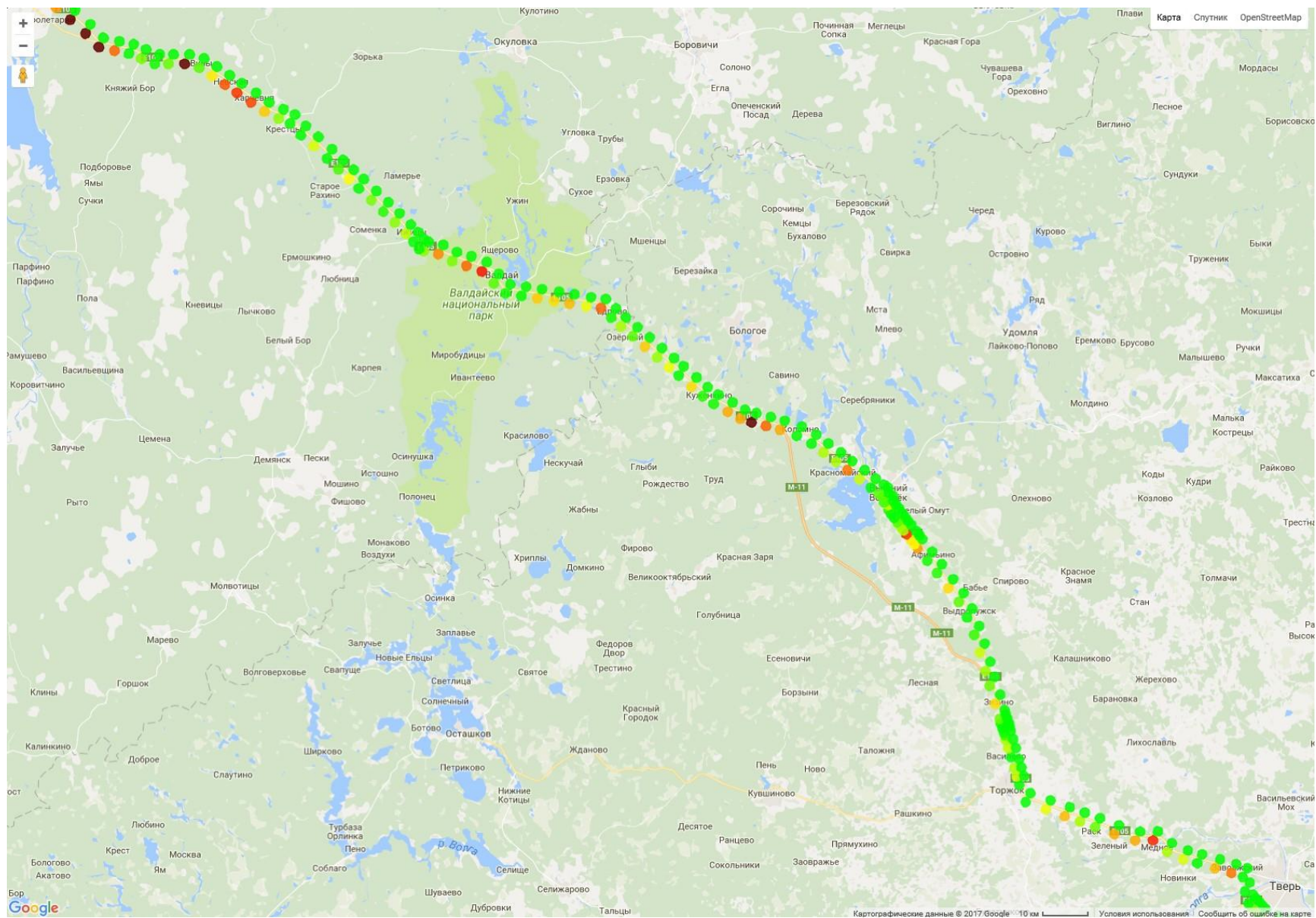


Рисунок 18 Покрытие GSM/GPRS/3G. Фрагмент 2

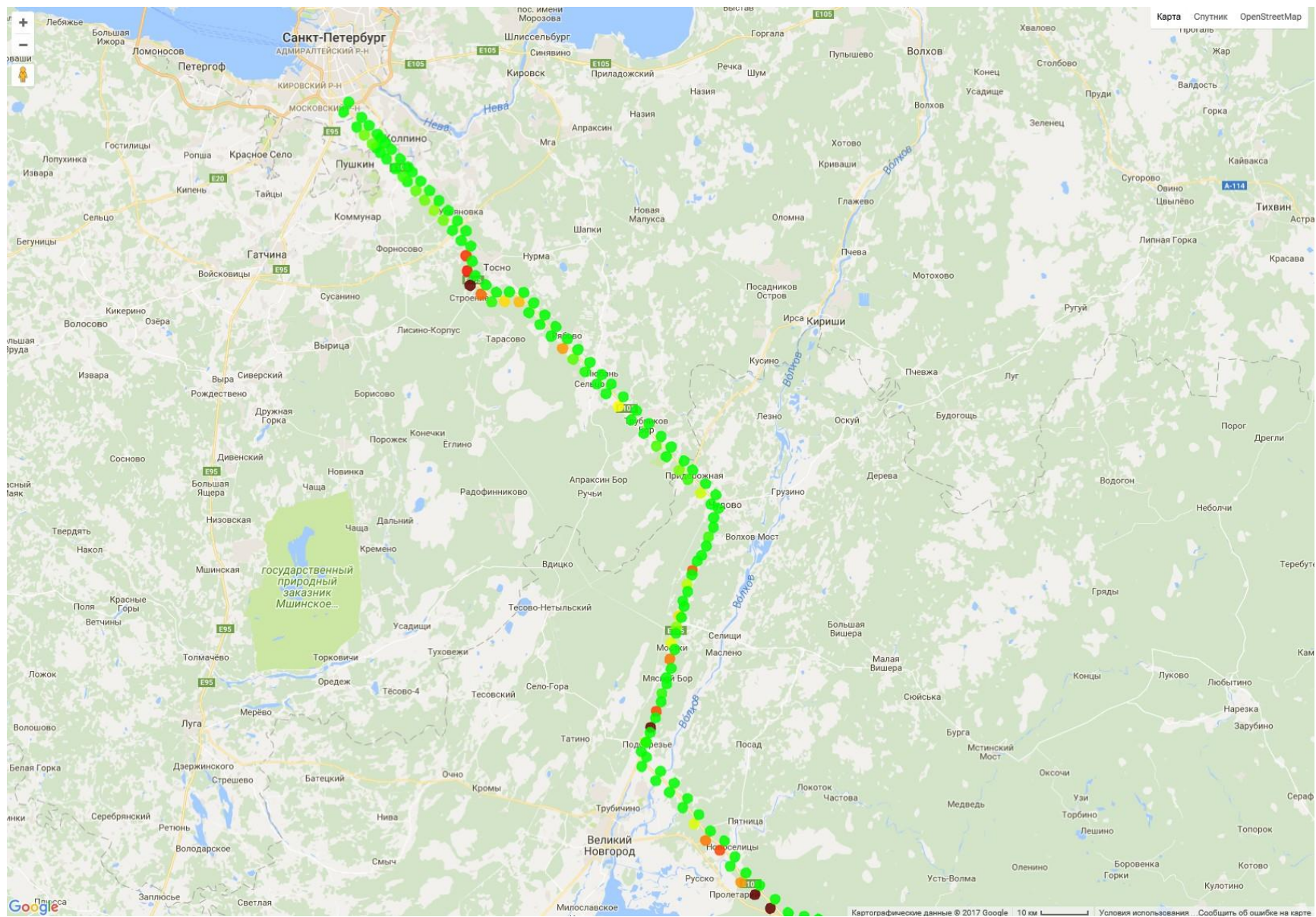


Рисунок 19 Покрытие GSM/GPRS/3G. Фрагмент 3