



Дата: 22.04.2016

ПРОТОКОЛ № 3/2016
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.....	6
4 Испытываемые образцы НАП.....	6
5 Определяемые показатели.....	7
6 Режимы испытаний.....	7
7 Последовательность испытаний.....	7
8 Результаты испытаний.....	8
8.1 Потребительские характеристики ГНСС.....	8
8.2 Точность позиционирования НАП по сигналам ГНСС.....	15
8.3 Работоспособность и эффективность СДКМ.....	22
8.4 Покрытие транспортного коридора сотовой связью.....	24
9 Выводы.....	26
9.1 Выводы по условиям спутниковой навигации.....	26
9.2 Выводы по результатам испытаний НАП.....	27
9.3 Выводы по результатам оценки СДКМ.....	28
9.4 Выводы по результатам проверки покрытия сотовой связью.....	28
Приложение 1. Обеспечение сотовой связью на участках транспортного коридора (все операторы, режимы GPRS и 3G).....	29
Приложение 2. Обеспечение сотовой связью на участках транспортного коридора (МТС, Билайн, Мегафон, режим 3G).....	41
Приложение 3. Схема подключения оборудования.....	53

1 ЦЕЛЬ ИСПЫТАНИЙ

1.1 Оценка потребительских характеристик ГНСС, контроль условий приема навигационных сигналов вдоль основных транспортных коридоров (участок Москва – Тамбов-Волгоград-Астрахань).

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 Испытания образцов НАП в реальных условиях эксплуатации, сравнение точности навигационных определений по ГЛОНАСС, GPS, в совместном режиме ГЛОНАСС+GPS.

1.4 Проверка работоспособности и эффективности широкозонного функционального дополнения СДКМ.

1.5 Тип испытаний – плановый рейд по свободному маршруту.

2 ВРЕМЯ И МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

2.1 Испытания проводились с 22.04.2016 по 28.04.2016.

2.2 Место проведения испытаний – по маршруту Москва-Тамбов-Волгоград-Астрахань (Федеральная автомобильная дорога Р-22 «Каспий» (М6)) в прямом и обратном направлении. Маршрут эксперимента с разбивкой на участки показан на рисунках 1 и 2. Для обозначения границ участков участки отображены чередующимися цветами (синий и красный).

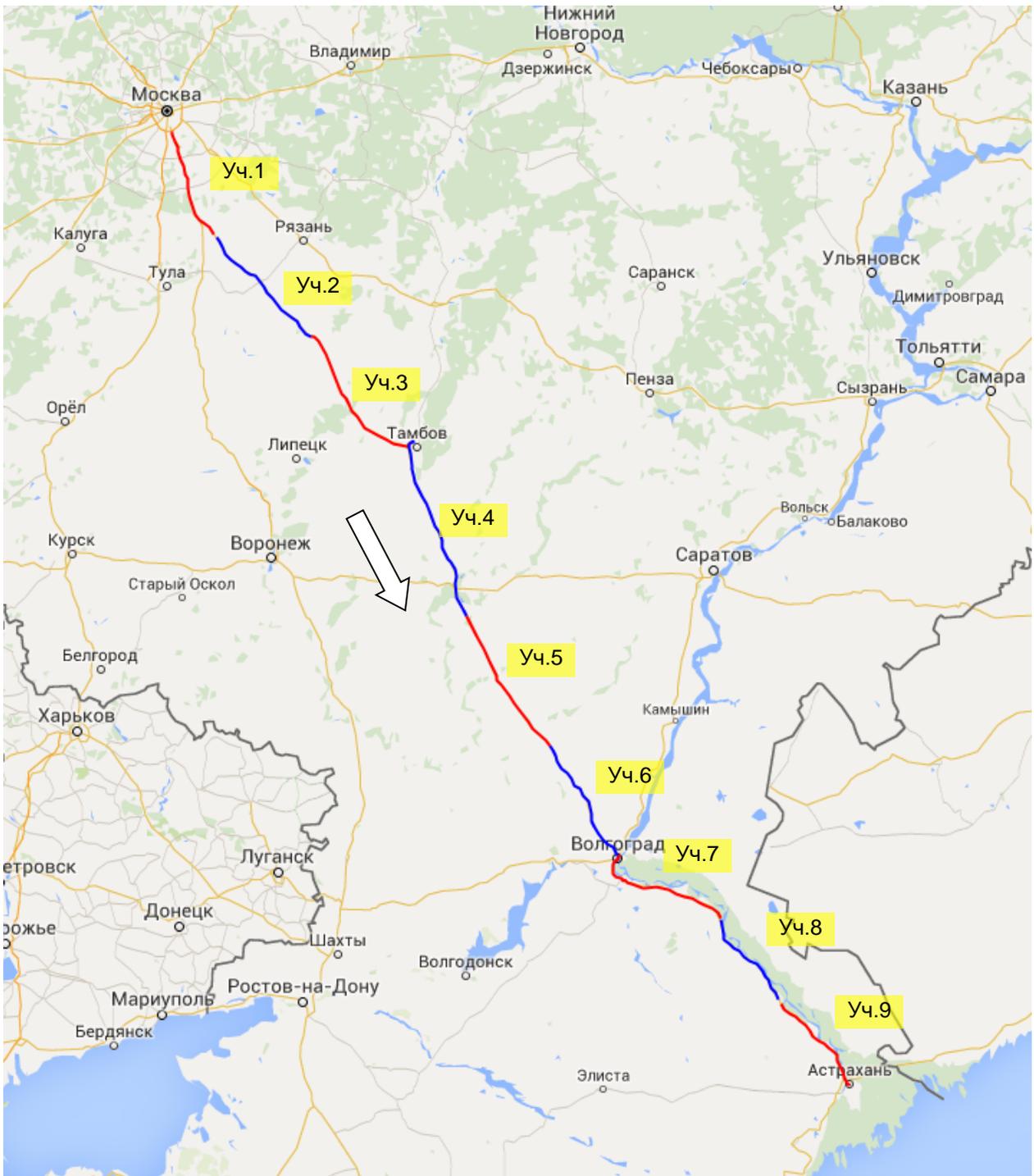


Рисунок 1 Маршрут проведения испытаний в прямом направлении (участки 1-9)

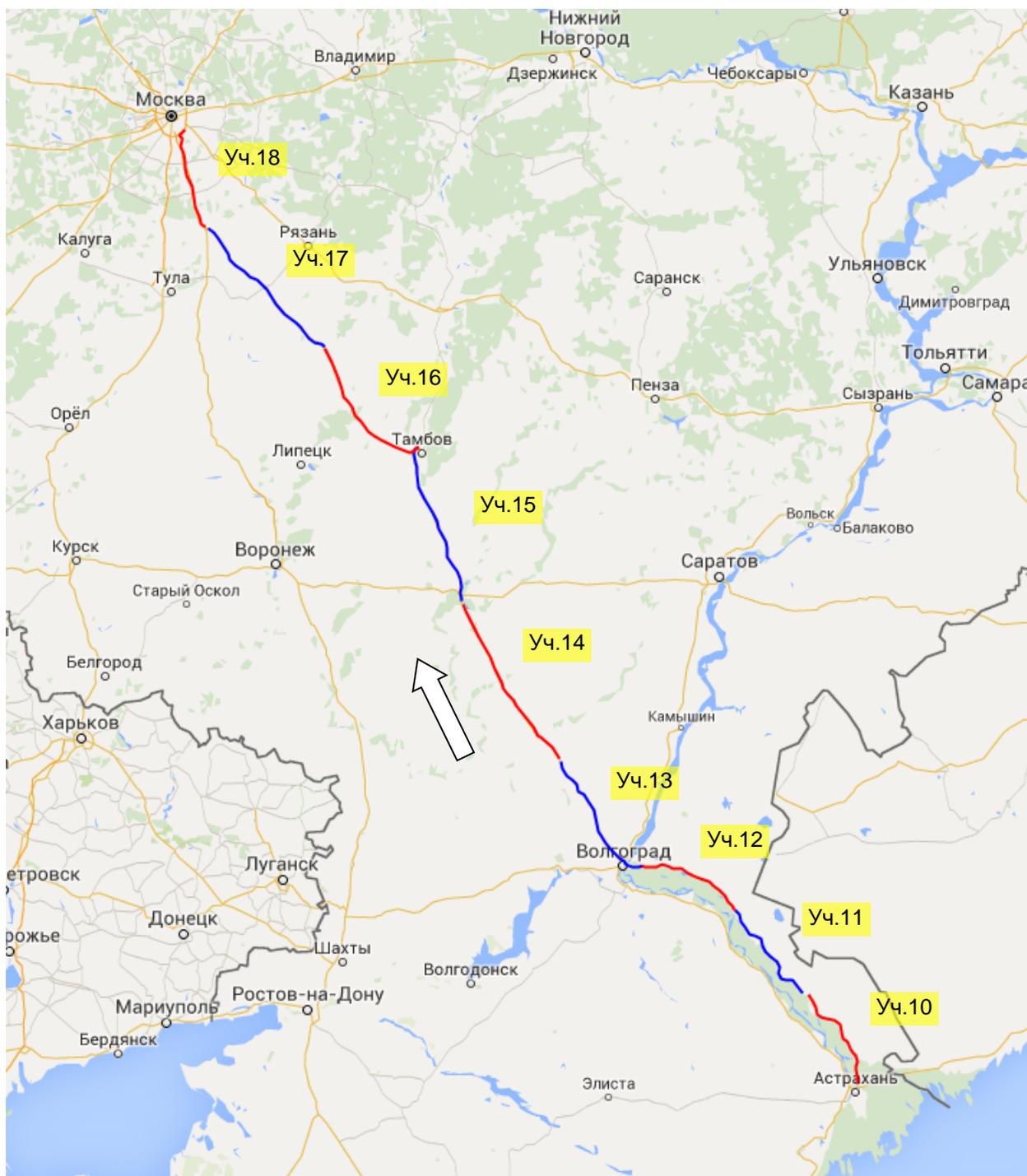


Рисунок 2 Маршрут проведения испытаний в обратном направлении (участки 10-18)

2.3 Дорога Р-22 «Каспий» является составной частью европейского маршрута Е 119 и азиатского маршрута АН8. Часть дороги от Волгограда до Астрахани также входит в европейский маршрут Е 40. С 2018 года автодорога «Каспий» будет отнесена к автомобильным дорогам федерального значения

2.4 Протяженность маршрута эксперимента - 2800 километров. Трасса проходит по равнинной местности по лесной, лесостепной, степной зонам (рис 3). Почти на всём своём протяжении трасса имеет по одной полосе в каждую сторону с редкими участками четырёхполосного движения. Немногочисленные участки трассы имеют хорошее дорожное покрытие и 2 полосы движения в каждую сторону с разделительной полосой. Характерная особенность - практически полное отсутствие населенных пунктов на участке от Каширы до Тамбова.



Рисунок 3 МИДЛ в степной зоне на маршруте испытаний

3 СРЕДСТВА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

3.1 Контрольный навигационный приемник (КНП) основной – Javad Sigma (TRE_G3TH) серийный номер 00745, далее - Sigma.

3.2 Контрольный навигационный приемник дополнительный – NovAtel ProPak – V3 (H/W Rev. 5.01) серийный номер 113428, далее - ProPak.

3.3 Антенна GrAnt-G3T, серийный номер 01992

3.4 3G SMART терминал Cinterion® EHS6T USB.

3.5 GSM антенна ТРИАДА-993

3.6 Схема подключения оборудования приведена в Приложении 4.

3.7 Методика проведения испытаний – в соответствии с эксплуатационной документацией МИДЛ (ГЮИД 469339.000)

3.8 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

-
..... далее - НАП-1.

-
..... далее - НАП-2.

-
..... далее - НАП-3.
-
..... далее - НАП-4.
-
..... далее - НАП-5.

Примечание: в публикуемой версии протокола используются обезличенные названия испытываемой аппаратуры для исключения использования результатов исследований в целях создания конкурентных преимуществ.

5 ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ

5.1 Потребительские характеристики ГНСС:

- количество видимых навигационных космических аппаратов (НКА) различных ГНСС;
- геометрический фактор ухудшения точности PDOP.

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 КНП Sigma при движении по маршруту в прямом направлении работал в режиме Stand Alone, в обратном направлении - с разрешением DGPS при приеме корректирующей информации (КИ) от спутников, передающих КИ СДКМ (RPN 125, 140, 141).

6.2 Испытываемые образцы НАП на участках маршрута циклически переключались в режимы работы по сигналам ГЛОНАСС+GPS, только ГЛОНАСС, только GPS.

7 ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ИСПЫТАНИЙ

7.1 Перемещение МИДЛ по маршруту: Москва-Тамбов-Волгоград-Астрахань в прямом и обратном направлении с регистрацией:

- сырых измерений контрольных навигационных приемников,
- данных местоопределений испытываемых НАП и КНП Sigma в формате NMEA,
- данных мониторинга станций сотовой сети от 3G терминала.

7.2 Расчет локальных потребительских характеристик ГНСС на маршруте.

7.3 Расчет контрольных траекторий.

7.4 Расчет характеристик погрешности определения местоположения НАП по сигналам различных ГНСС.

7.5 Расчет характеристик погрешности определения местоположения КНП Sigma и влияния КИ СДКМ на эту погрешность.

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

8 РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

8.1 Потребительские характеристики ГНСС

8.1.1 Оценка условий навигации по сигналам ГНСС

8.1.1.1 В качестве характеристик условий навигации по сигналам ГНСС приняты количество видимых НКА ГНСС ГЛОНАСС/GPS и геометрический фактор PDOP. Оценка этих характеристик проводилась по показаниям контрольного навигационного приемника Sigma. Результаты приведены на рисунках 4-22 и в таблице 1.

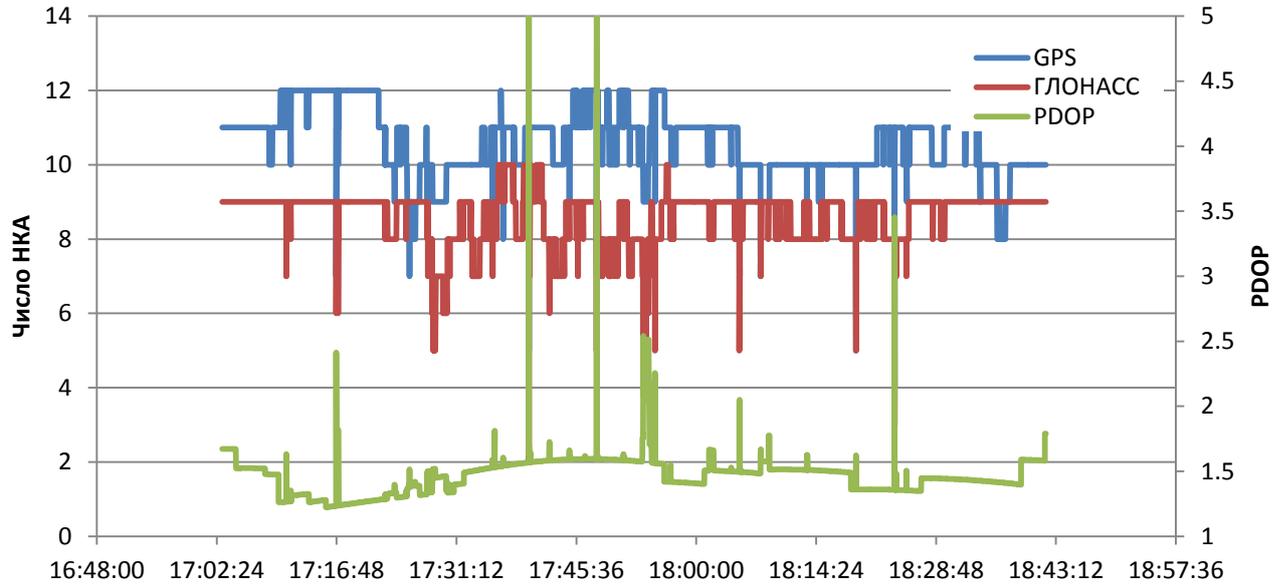


Рисунок 4 Количество видимых НКА и фактор PDOP на участке 1

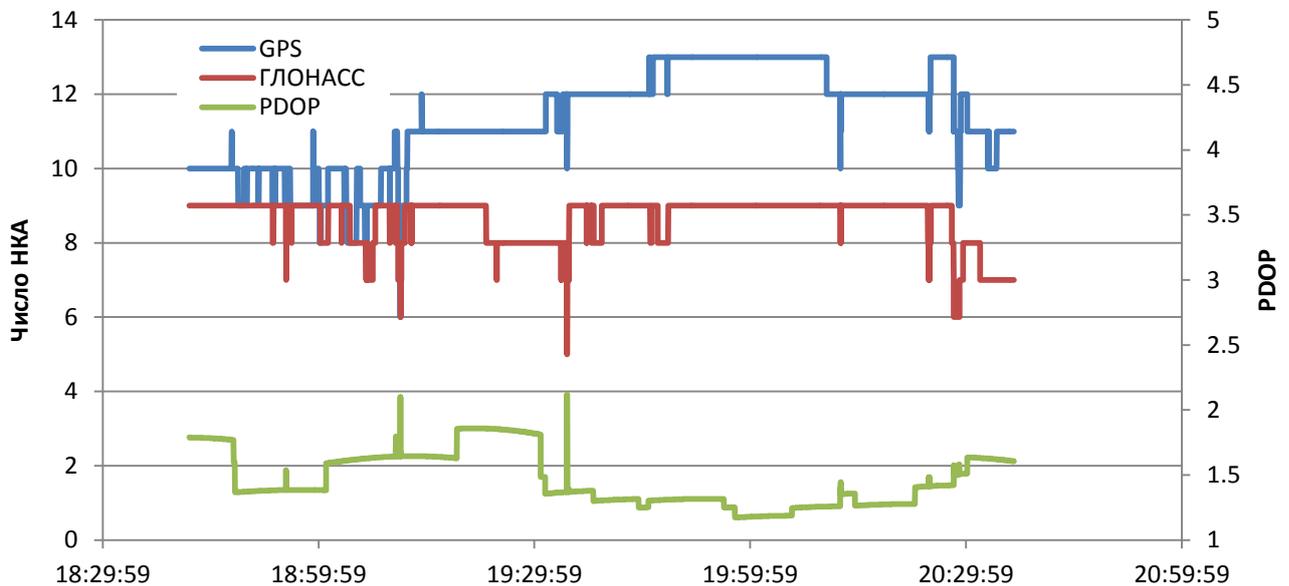


Рисунок 5 Количество видимых НКА и фактор PDOP на участке 2

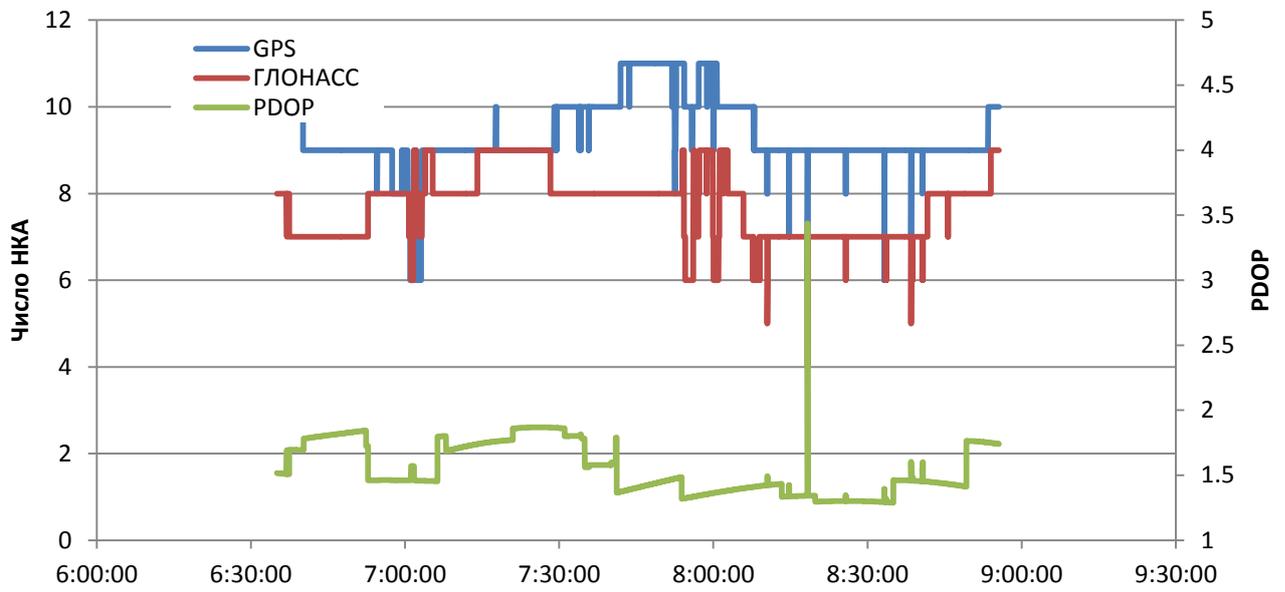


Рисунок 6 Количество видимых НКА и фактор PDOP на участке 3

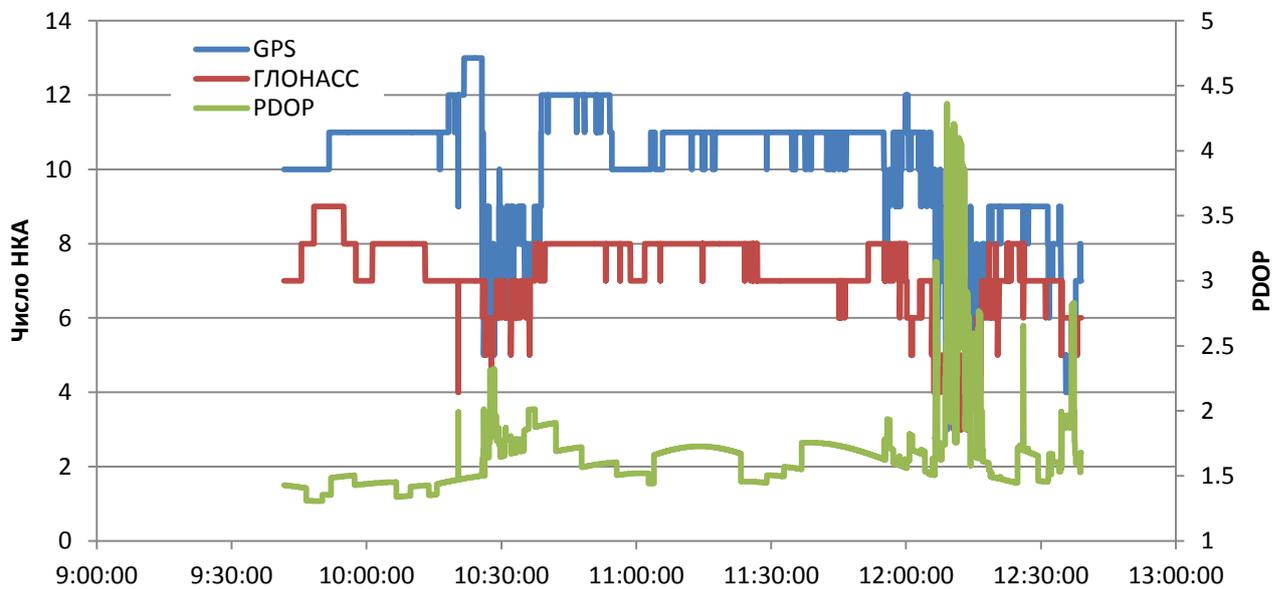


Рисунок 7 Количество видимых НКА и фактор PDOP на участке 4

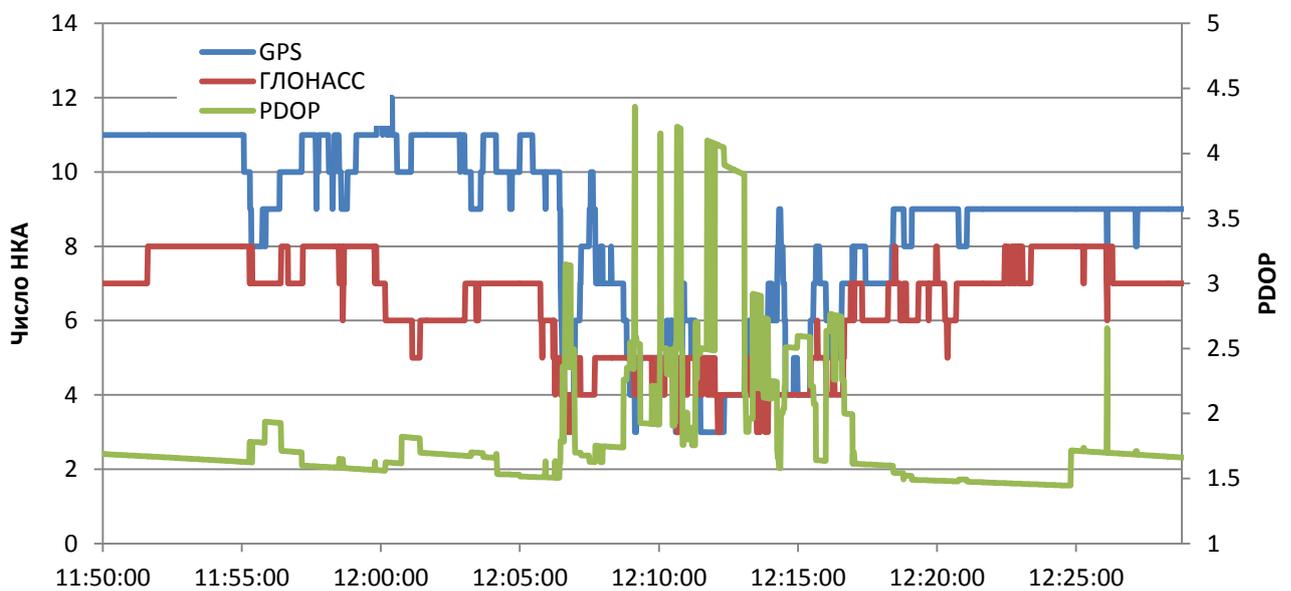


Рисунок 8 Количество видимых НКА и фактор PDOP на участке 4 (фрагмент)

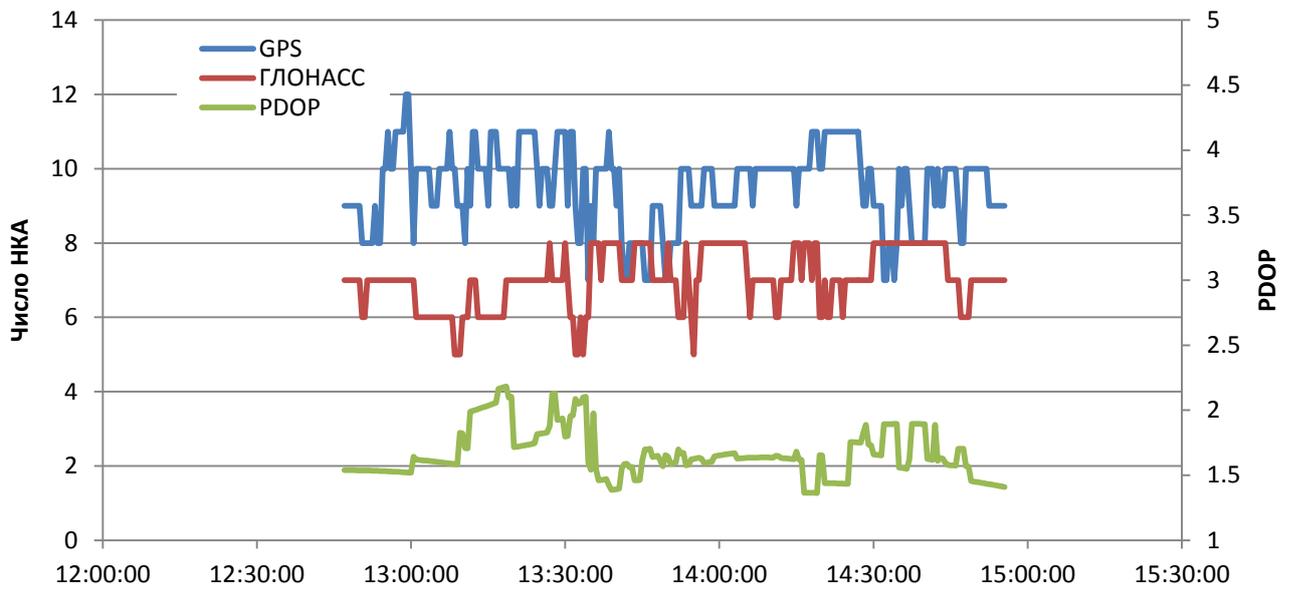


Рисунок 9 Количество видимых НКА и фактор PDOP на участке 5

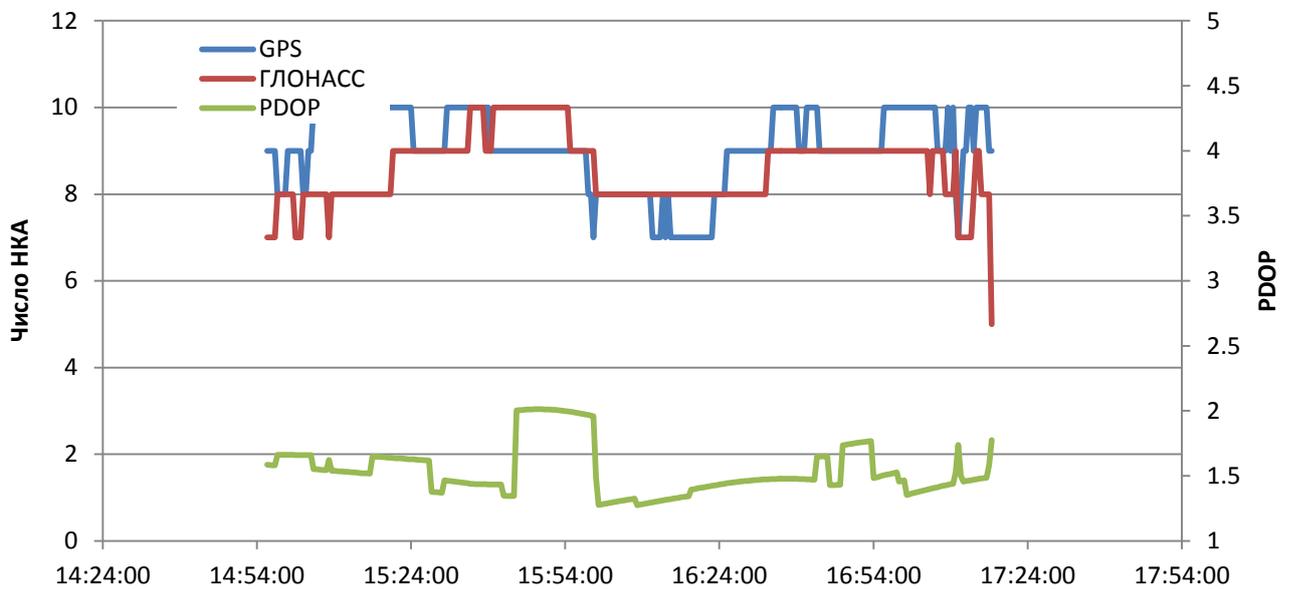


Рисунок 10 Количество видимых НКА и фактор PDOP на участке 6

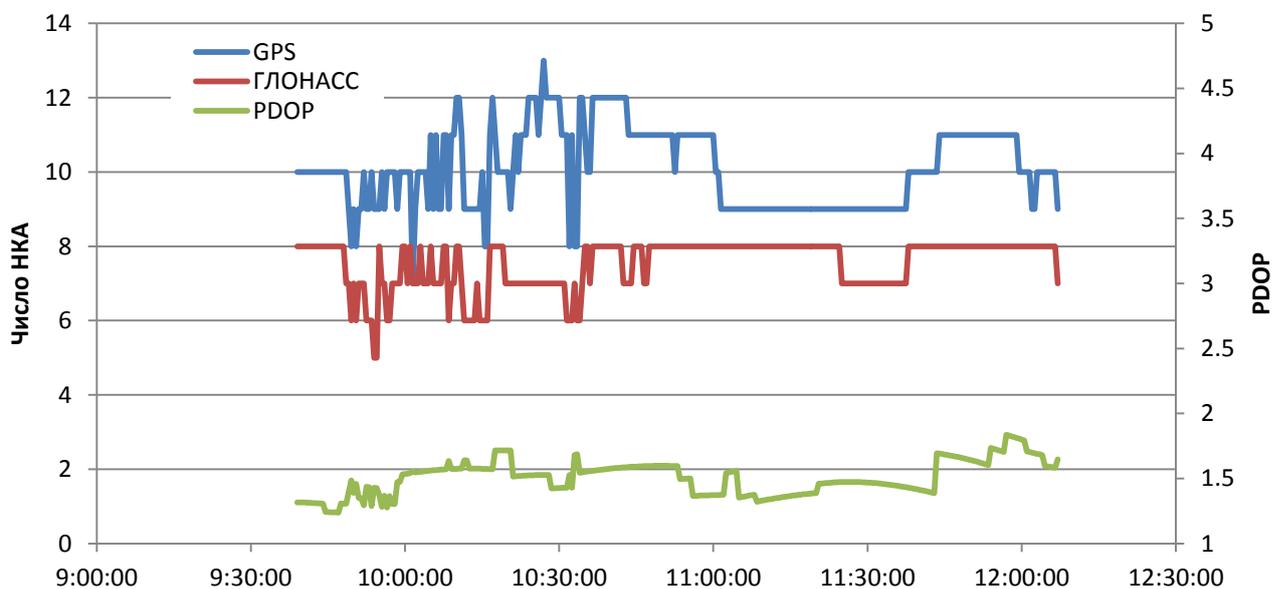


Рисунок 11 Количество видимых НКА и фактор PDOP на участке 7

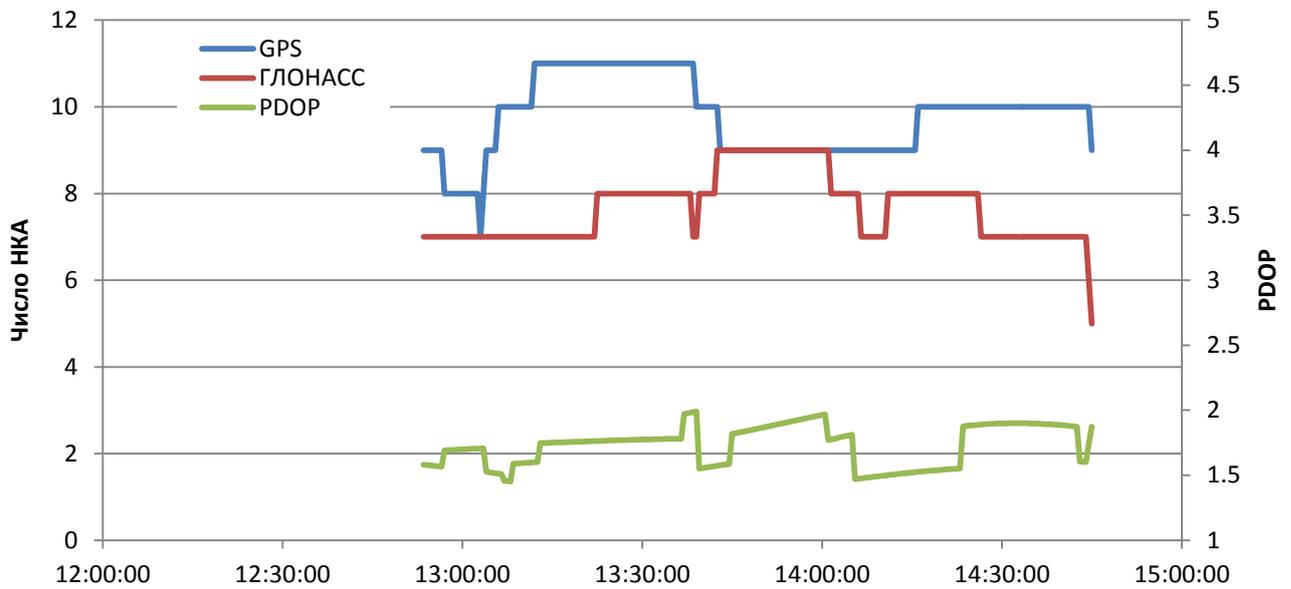


Рисунок 12 Количество видимых НКА и фактор PDOP на участке 8

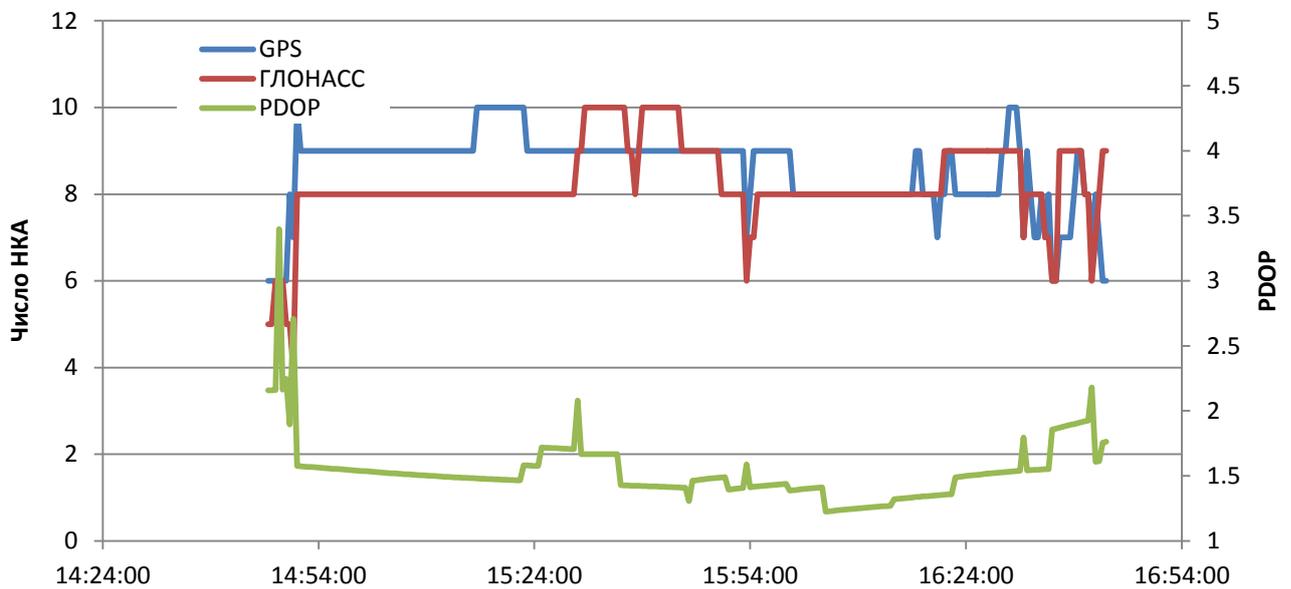


Рисунок 13 Количество видимых НКА и фактор PDOP на участке 9

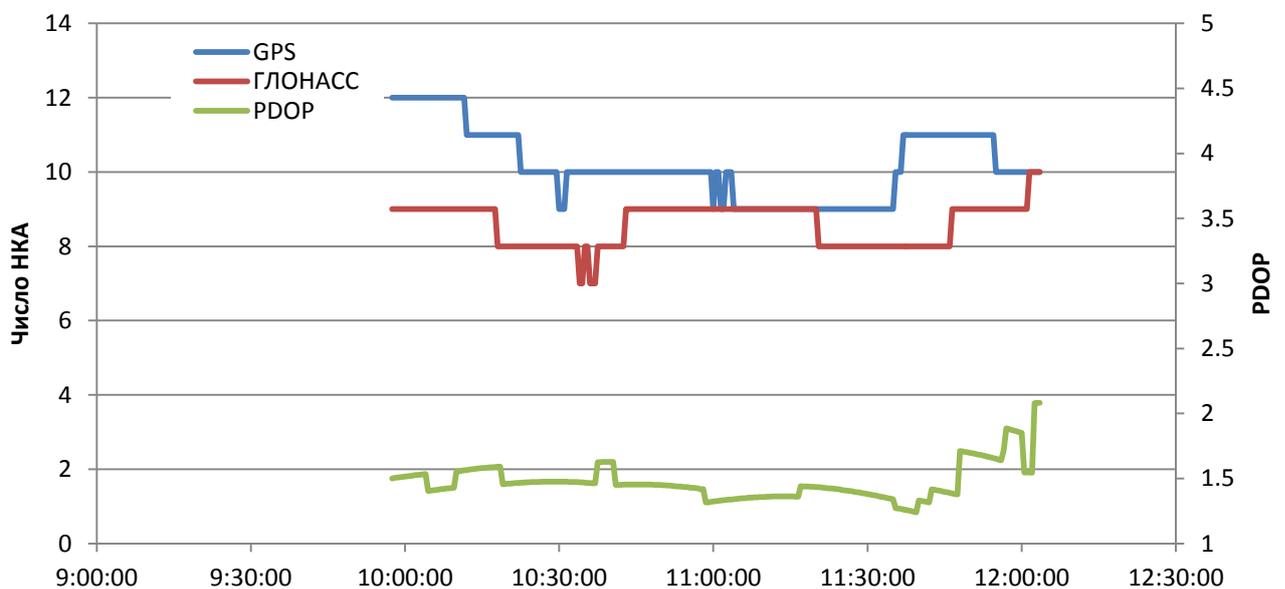


Рисунок 14 Количество видимых НКА и фактор PDOP на участке 10

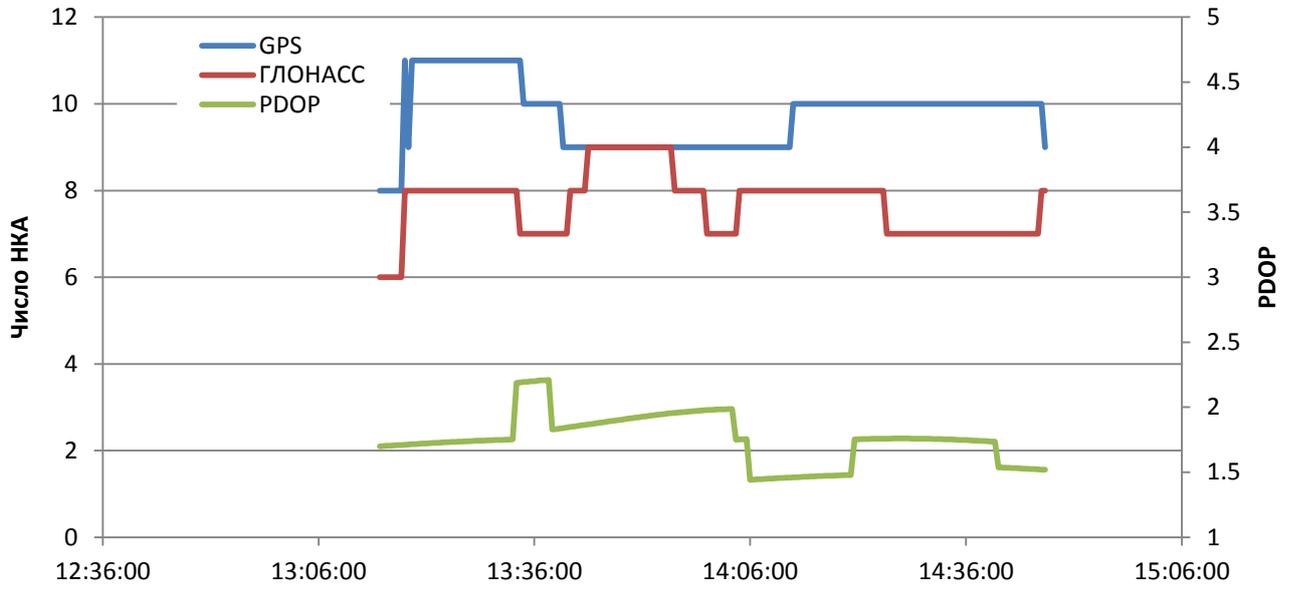


Рисунок 15 Количество видимых НКА и фактор PDOP на участке 11

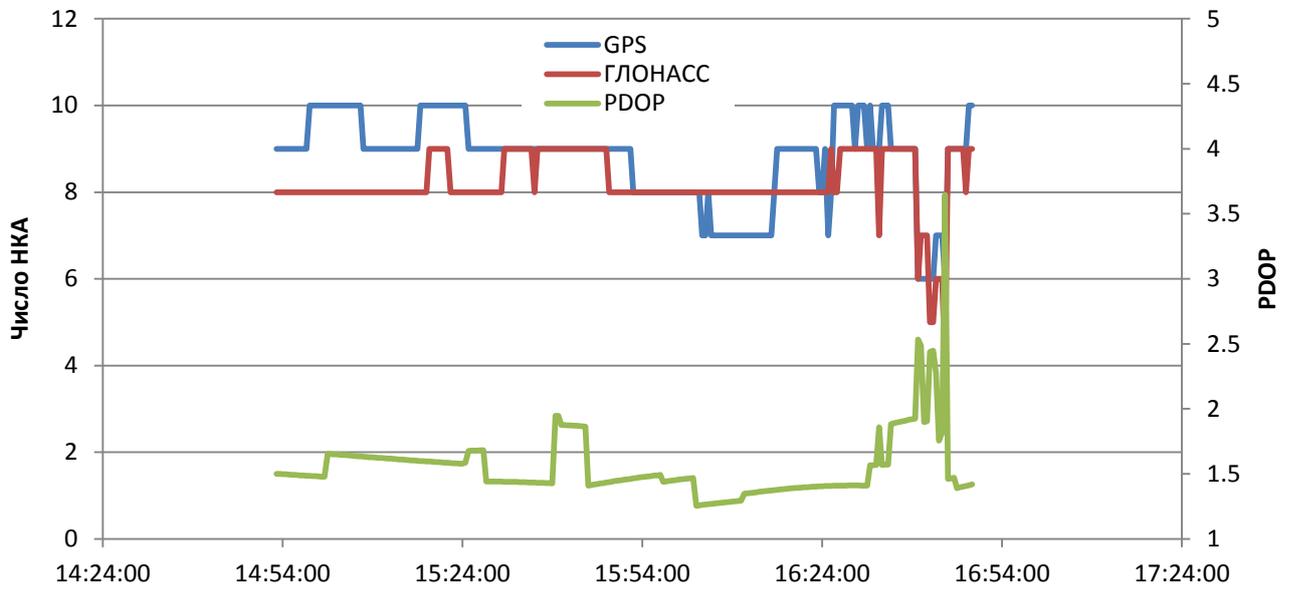


Рисунок 16 Количество видимых НКА и фактор PDOP на участке 12

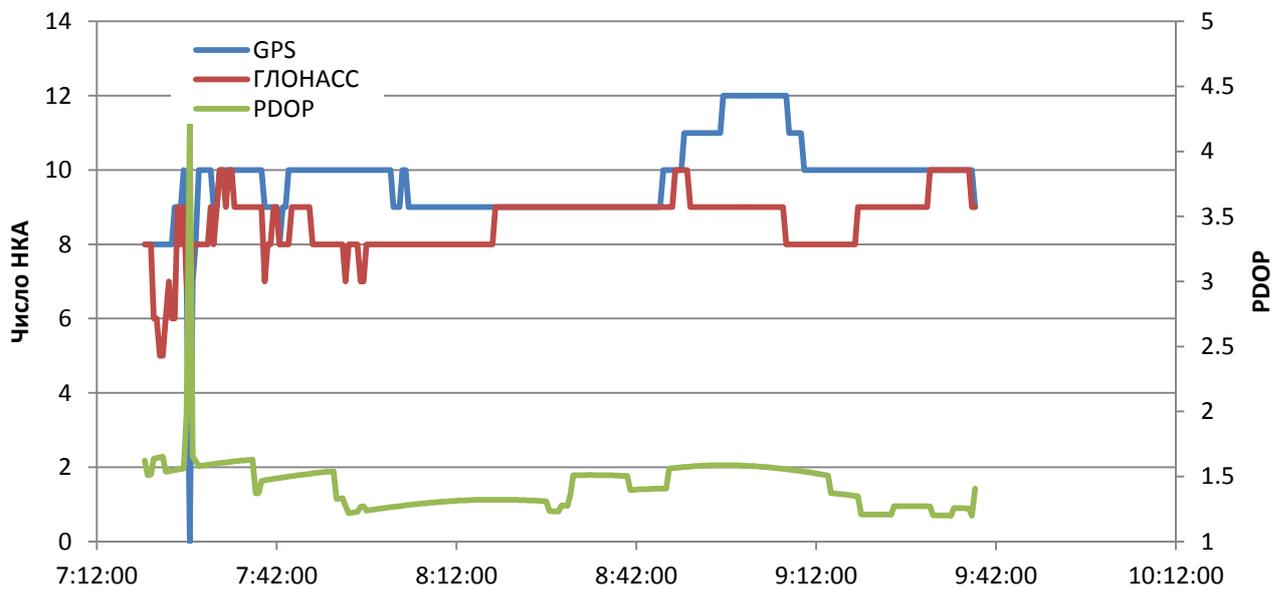


Рисунок 17 Количество видимых НКА и фактор PDOP на участке 13

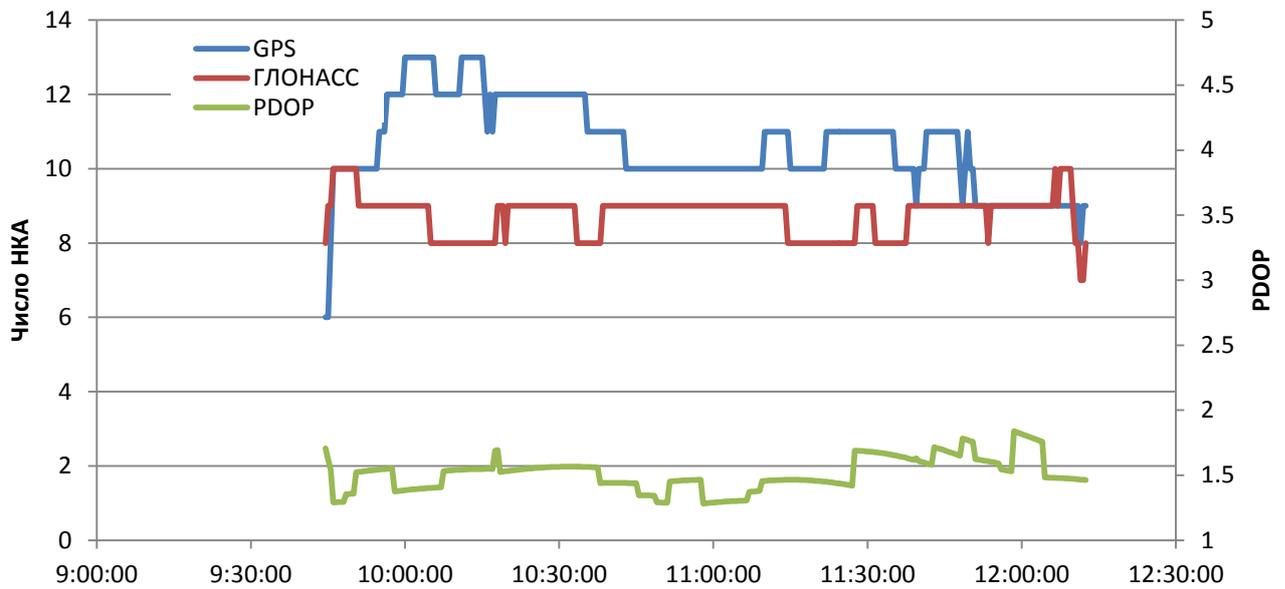


Рисунок 18 Количество видимых НКА и фактор PDOP на участке 14

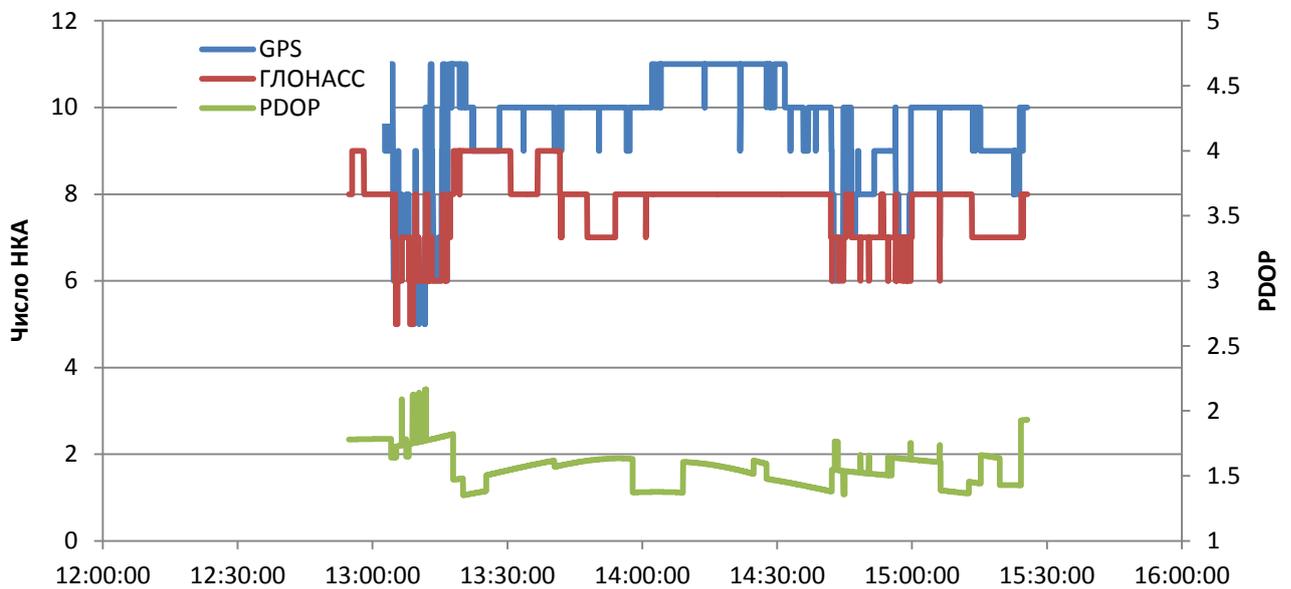


Рисунок 19 Количество видимых НКА и фактор PDOP на участке 15

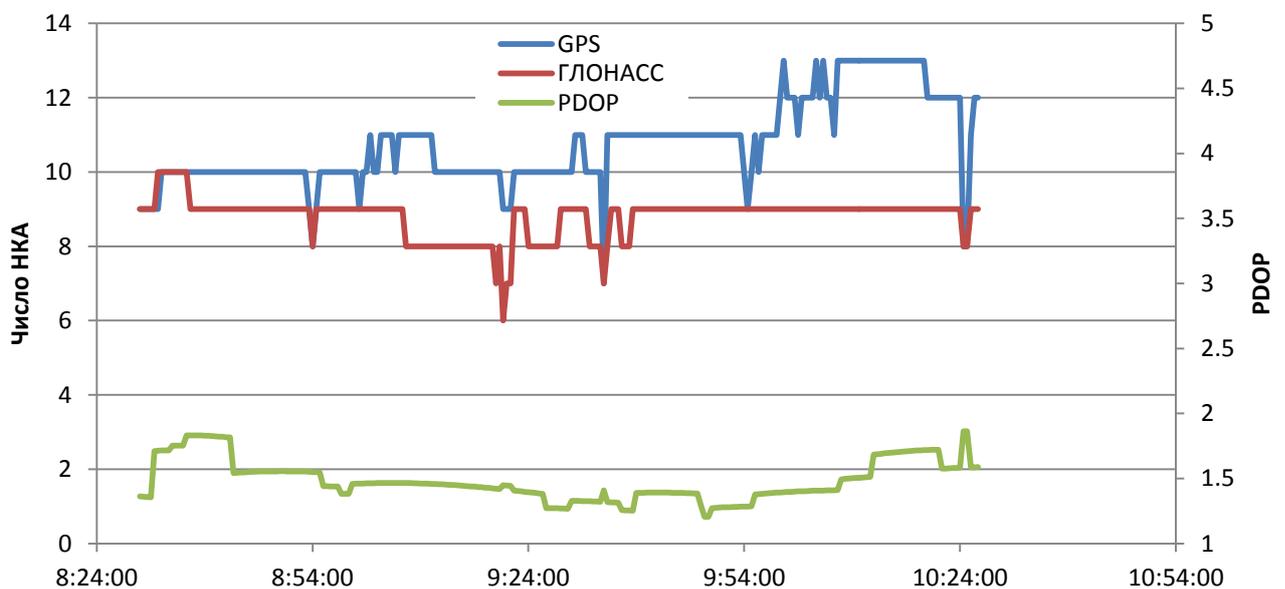


Рисунок 20 Количество видимых НКА и фактор PDOP на участке 16

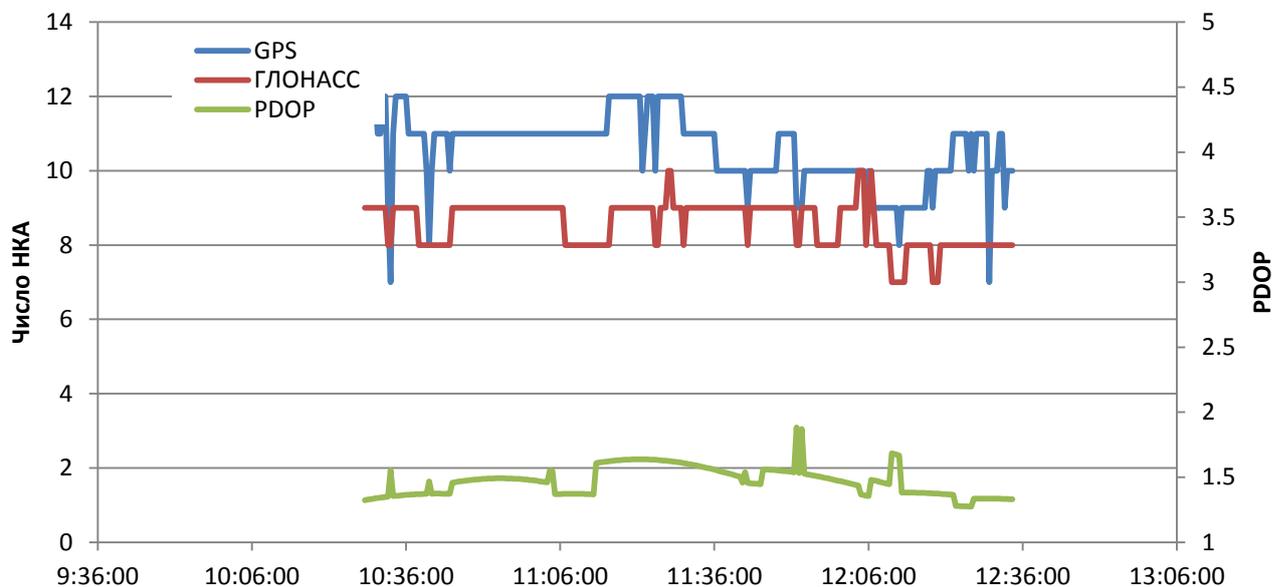


Рисунок 21 Количество видимых НКА и фактор PDOP на участке 17

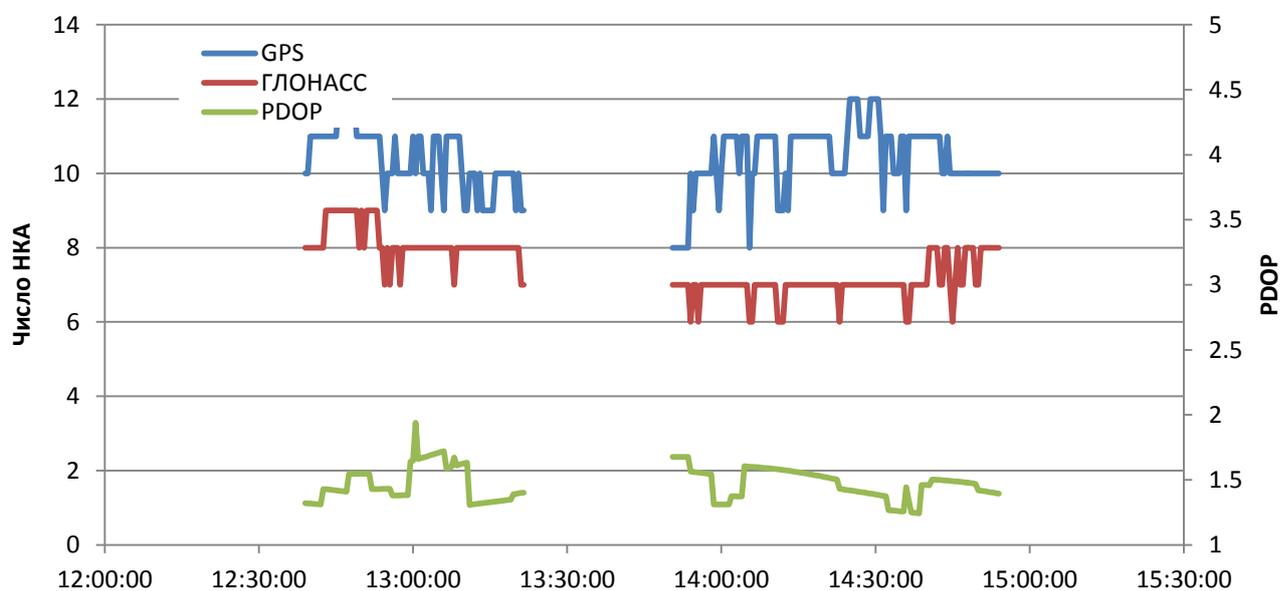


Рисунок 22 Количество видимых НКА и фактор PDOP на участке 18

Таблица 1. Средние значения количества видимых НКА и фактора PDOP

Участок	НКА GPS	НКА ГЛОНАСС	PDOP
1	10.6	8.7	1.47
2	11.3	8.7	1.46
3	9.4	7.7	1.55
4	10.0	7.2	1.65
5	9.5	7.0	1.66
6	9.0	8.6	1.54
7	10.1	7.5	1.51
8	9.8	7.7	1.73
9	8.6	8.2	1.53
10	10.2	8.6	1.47
11	9.7	7.7	1.76
12	8.8	8.2	1.55

13	9.7	8.6	1.43
14	10.6	8.8	1.51
15	9.7	7.8	1.56
16	10.7	8.8	1.48
17	10.6	8.6	1.47
18	10.4	7.5	1.47
Среднее	9.9	8.1	1.54

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 методом PPP.

8.2.2 Для сравнительной оценки точности позиционирования НАП по различным ГНСС маршрут был разбит на участки - с 1 по 18. При движении по участкам маршрута испытываемые образцы НАП циклически переключались на следующие режимы работы:

- по сигналам ГЛОНАСС и GPS;
- только по сигналам ГЛОНАСС;
- только по сигналам GPS.

Режимы работы на участках маршрута приведены в таблице 2.

Таблица 2. Режимы работы НАП на участках маршрута

Номер участка	Режим
1	ГЛОНАСС+GPS
2	GPS
3	ГЛОНАСС
4	ГЛОНАСС+GPS
5	GPS
6	ГЛОНАСС
7	ГЛОНАСС+GPS
8	GPS
9	ГЛОНАСС
10	ГЛОНАСС+GPS
11	GPS
12	ГЛОНАСС
13	ГЛОНАСС+GPS
14	GPS
15	ГЛОНАСС
16	ГЛОНАСС+GPS
17	GPS
18	ГЛОНАСС

8.2.3 Количественные характеристики точности позиционирования НАП на маршруте при работе по сигналам различных ГНСС приведены в таблицах 3 - 7.

Таблица 3 Характеристики точности позиционирования НАП-1 при работе по сигналам различных ГНСС

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		
Режим GPS										
2	3.12	2.50	5.74	7.99	1.82	1.76	2.28	2.80	4 972	1.50
5	3.13	1.45	9.89	10.10	2.28	2.17	3.57	4.35	1 496	1.52
8	2.38	2.18	3.76	4.71	1.40	1.38	1.79	2.13	5 340	1.62
11	1.92	1.72	3.12	4.21	0.93	0.88	1.39	1.69	5 027	1.65
14	1.94	1.34	3.53	6.04	1.04	1.04	1.35	1.56	5 935	1.46
17	2.44	1.72	5.07	7.38	1.39	1.35	2.13	2.49	4 778	1.50
Итого	2.39	1.85	4.51	6.25	1.36	1.32	1.87	2.23	27 548	1.54
Режим ГЛОНАСС										
3	10.16	9.43	14.98	23.59	4.82	4.58	7.40	10.49	5 280	1.93
6	4.37	4.04	6.91	10.04	2.89	2.67	4.42	4.94	6 612	1.70
9	3.29	2.22	5.54	19.08	3.19	3.11	4.43	8.71	6 143	1.72
12	4.67	3.94	7.93	9.57	3.20	3.05	3.94	7.82	6 538	1.77
15	5.15	4.76	8.69	11.51	4.51	3.47	10.23	12.60	6 086	1.78
18	13.67	14.14	18.97	21.81	5.67	5.29	8.61	10.02	3 665	1.70
Итого	6.26	5.73	9.70	15.17	3.88	3.54	6.27	8.92	34 324	1.77
Режим ГЛОНАСС+GPS										
1	2.16	1.51	4.21	5.95	1.51	1.45	2.04	2.65	2 478	1.06
4	1.65	0.75	3.46	6.49	1.05	1.00	1.55	2.72	6 445	1.08
7	4.80	4.78	6.38	7.20	0.86	0.70	1.65	2.43	5 288	1.09
10	1.96	1.71	3.36	4.55	0.80	0.54	1.65	2.60	7 021	1.04
13	1.55	1.28	2.69	3.97	0.68	0.62	1.02	1.85	6 136	1.06
16	2.29	2.04	3.87	5.69	1.76	1.76	2.16	2.71	5 701	1.05
Итого	2.35	1.98	3.89	5.55	1.05	0.95	1.63	2.48	33 069	1.06

Таблица 4 Характеристики точности позиционирования НАП-2 при работе по сигналам различных ГНСС

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		
Режим GPS										
2	2.93	2.12	5.40	8.35	1.03	0.76	1.82	2.16	4 972	1.04
5	3.03	1.24	9.40	9.50	2.25	1.83	4.67	5.36	1 496	1.50
8	2.78	2.67	4.31	5.11	1.32	1.15	2.21	3.13	5 096	1.57
11	2.38	2.27	3.57	4.59	1.25	1.20	1.74	2.05	4 815	1.67
14	1.79	1.09	3.51	6.17	1.49	1.47	2.06	2.41	5 744	1.44
17	2.09	1.21	4.41	6.19	0.87	0.77	1.39	2.57	4 778	1.47
Итого	2.42	1.82	4.51	6.28	1.26	1.13	2.01	2.63	26 901	1.44
Режим ГЛОНАСС										
3	3.56	2.43	6.62	8.44	5.11	5.02	7.28	8.33	5 280	1.92
6	3.22	2.67	5.67	9.45	1.71	1.30	3.41	3.96	6 612	1.75
9	3.16	2.75	5.33	6.44	3.50	3.36	4.89	9.79	6 143	1.72
12	3.56	2.38	6.51	7.39	5.91	5.27	8.56	9.06	6 531	2.01
15	3.84	2.08	7.21	18.38	2.79	1.96	5.81	8.52	6 086	1.71
18	8.96	8.80	12.55	17.51	3.60	3.34	5.29	6.83	3 641	1.67
Итого	4.05	3.14	6.92	10.80	3.75	3.33	5.88	7.76	34 293	1.80
Режим ГЛОНАСС+GPS										
1	2.20	1.29	4.56	8.11	1.19	1.11	1.95	2.18	2 478	1.07
4	1.50	0.79	3.19	6.63	1.57	1.38	2.52	4.24	6 445	1.07
7	5.09	4.99	6.80	7.63	0.79	0.64	1.36	2.00	5 288	1.09
10	2.34	1.96	3.96	5.21	1.16	0.92	2.35	3.02	6 858	1.04
13	1.50	1.07	3.05	4.32	0.95	0.67	1.71	4.28	6 054	1.05
16	2.00	1.59	3.64	5.69	1.00	0.83	1.63	2.35	5 708	1.01
Итого	2.39	1.94	4.09	6.02	1.12	0.92	1.95	3.15	32 831	1.05

Таблица 5 Характеристики точности позиционирования НАП-3 при работе по сигналам различных ГНСС

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		
Режим GPS										
2	1.47	1.04	2.85	2.95	2.09	2.32	2.50	2.62	4 802	1.49
5	3.38	2.39	8.19	8.29	2.98	2.61	6.09	7.42	1 286	1.58
8	6.38	6.87	8.08	8.25	9.61	9.45	10.30	10.36	5 340	1.62
11	5.60	5.70	6.81	7.02	4.48	1.71	6.93	7.00	5 027	1.66
14	1.60	1.62	2.23	2.37	3.54	3.67	3.91	3.94	5 935	1.44
17	1.45	0.79	3.45	3.67	2.07	1.16	5.03	5.07	4 778	1.47
Итого	3.31	3.19	4.83	5.00	4.37	3.71	5.78	5.90	27 168	1.54
Режим ГЛОНАСС										
3	4.44	2.25	8.78	10.31	3.41	2.82	5.27	6.62	5 280	1.90
6	2.35	1.77	5.07	6.25	2.29	1.82	4.64	5.16	6 612	1.69
9	3.82	2.51	6.03	12.94	5.90	5.88	7.81	12.28	6 143	1.73
12	2.02	1.01	3.79	8.84	4.90	4.42	6.79	11.19	2 313	1.87
15	3.68	2.83	6.99	11.83	4.74	3.92	7.76	18.44	6 086	1.75
18	7.53	6.81	11.98	18.89	4.73	3.66	6.85	24.20	3 659	1.66
Итого	3.89	2.77	7.05	11.19	4.22	3.67	6.46	12.33	30 093	1.76
Режим ГЛОНАСС+GPS										
1	1.02	0.80	1.63	2.83	1.43	1.38	2.44	2.54	2 478	1.07
4	89.21	4.31	240.42	245.70	57.91	3.83	154.96	158.03	6 445	1.07
7	5.56	5.11	8.59	8.89	2.87	1.20	6.00	6.16	5 288	1.09
10	2.31	1.80	3.23	6.82	2.96	2.06	4.55	8.57	7 024	1.04
13	2.08	1.44	3.25	4.53	4.07	2.86	7.58	7.63	6 136	1.06
16	2.04	1.95	2.98	3.12	1.46	1.50	1.82	1.87	5 706	1.03
Итого	19.58	2.70	50.14	52.33	13.49	2.27	34.02	35.52	33 077	1.06

Таблица 6 Характеристики точности позиционирования НАП-4 при работе по сигналам различных ГНСС

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		
Режим GPS										
2	1.60	1.37	2.63	2.83	1.77	1.77	2.03	2.14	4 972	1.44
5	3.43	1.76	9.93	11.62	2.08	1.63	3.95	4.26	1 496	1.42
8	2.18	1.87	3.57	3.70	1.41	1.45	1.61	1.66	5 340	1.48
11	1.04	0.79	1.95	2.14	1.45	1.36	2.23	2.35	5 027	1.50
14	0.80	0.45	1.58	2.37	1.20	1.11	1.66	1.74	5 935	1.45
17	1.14	0.92	2.20	2.29	0.69	0.60	1.18	1.51	4 778	1.50
Итого	1.46	1.11	2.78	3.16	1.35	1.28	1.86	2.00	27 548	1.47
Режим ГЛОНАСС										
3	9.72	10.43	14.58	14.86	5.69	5.45	7.55	7.89	5 280	1.95
6	5.14	4.68	8.10	9.14	3.71	2.78	6.18	6.45	6 612	1.70
9	6.59	5.76	10.24	12.86	5.39	4.63	7.25	9.72	6 143	1.70
12	10.31	7.40	14.40	46.75	7.12	6.12	11.62	11.99	6 538	1.76
15	8.93	9.89	11.96	13.21	7.81	8.01	10.23	10.69	6 086	1.77
18	9.69	10.50	11.65	11.87	4.54	4.46	6.27	6.57	3 647	1.66
Итого	8.25	7.82	11.74	18.87	5.78	5.27	8.35	9.08	34 306	1.76
Режим ГЛОНАСС+GPS										
1	2.49	2.38	3.19	8.30	3.58	3.67	4.30	4.68	2 478	1.05
4	2.84	2.09	5.03	5.58	1.69	1.31	3.45	4.50	6 445	1.09
7	5.28	5.57	7.00	7.35	2.11	2.12	2.75	3.27	5 288	1.19
10	1.68	1.70	2.32	4.07	2.39	1.79	5.05	7.59	7 029	1.04
13	4.46	4.24	7.43	7.76	1.00	0.89	1.65	2.07	6 135	1.05
16	1.75	1.26	3.08	3.35	1.97	1.82	3.05	3.31	5 701	1.04
Итого	3.07	2.84	4.74	5.77	1.97	1.73	3.34	4.32	33 076	1.08

Таблица 7 Характеристики точности позиционирования НАП-5 при работе по сигналам различных ГНСС

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		
Режим GPS										
2	5.62	5.78	8.62	8.82	4.16	3.15	6.37	6.57	4 972	1.05
5	10.70	3.35	28.70	37.67	7.20	5.33	12.76	16.91	1 496	1.08
8	4.91	3.74	8.16	8.27	5.21	5.14	6.06	6.26	5 340	1.02
11	6.97	7.69	9.29	9.51	3.93	3.98	4.49	4.72	5 027	1.09
14	4.67	2.73	7.50	17.30	3.39	3.25	4.16	6.10	5 935	1.06
17	5.55	5.65	8.89	9.02	3.05	3.08	4.11	4.18	4 778	1.03
Итого	5.79	4.92	9.55	12.27	4.13	3.81	5.45	6.22	27 548	1.05
Режим ГЛОНАСС										
3	3.70	3.51	5.97	6.55	6.47	6.36	8.72	9.15	5 280	1.25
6	2.13	0.82	6.36	9.04	4.31	3.79	7.99	11.39	6 612	1.29
9	6.68	3.57	11.45	11.64	4.31	4.05	6.02	6.11	6 143	1.23
12	14.10	14.61	18.33	18.81	4.88	4.95	6.08	6.24	6 538	1.36
15	8.80	7.52	16.04	20.09	2.28	1.94	3.80	4.47	6 086	1.33
18	14.85	15.15	19.45	20.43	3.81	2.72	7.85	8.61	3 655	1.22
Итого	8.00	7.07	12.60	14.16	4.34	4.01	6.63	7.60	34 314	1.29
Режим ГЛОНАСС+GPS										
1	7.87	6.78	13.52	14.04	4.89	4.91	6.30	7.38	2 478	0.95
4	5.29	4.20	9.18	10.78	2.98	2.98	3.59	6.24	6 445	0.96
7	1.64	1.11	3.90	4.65	4.30	4.66	4.92	5.10	5 288	0.92
10	3.71	3.18	6.46	7.22	1.71	1.61	2.46	2.97	7 027	0.94
13	4.73	0.61	12.16	19.40	4.12	4.14	4.92	5.59	6 136	0.96
16	2.89	1.51	5.65	5.82	1.41	1.41	2.00	2.71	5 708	0.92
Итого	4.05	2.55	8.03	10.03	3.00	3.05	3.74	4.72	33 082	0.94

8.2.4 Итоговые предельные погрешности местоопределений НАП в различных режимах в плане и по высоте по уровню вероятности 0.95 приведены в таблицах 8 и 9 и виде диаграмм на рисунках 23 и 24.

Таблица 8 Итоговые предельные погрешности местоопределений в плане (P=0.95)

ГНСС \ НАП	НАП-1	НАП-2	НАП-3	НАП-4	НАП-5
GPS	1.87	2.01	5.78	1.86	5.45
ГЛОНАСС	6.27	5.88	6.46	8.35	6.63
ГЛОНАСС+GPS	1.63	1.95	34.02	3.34	3.74

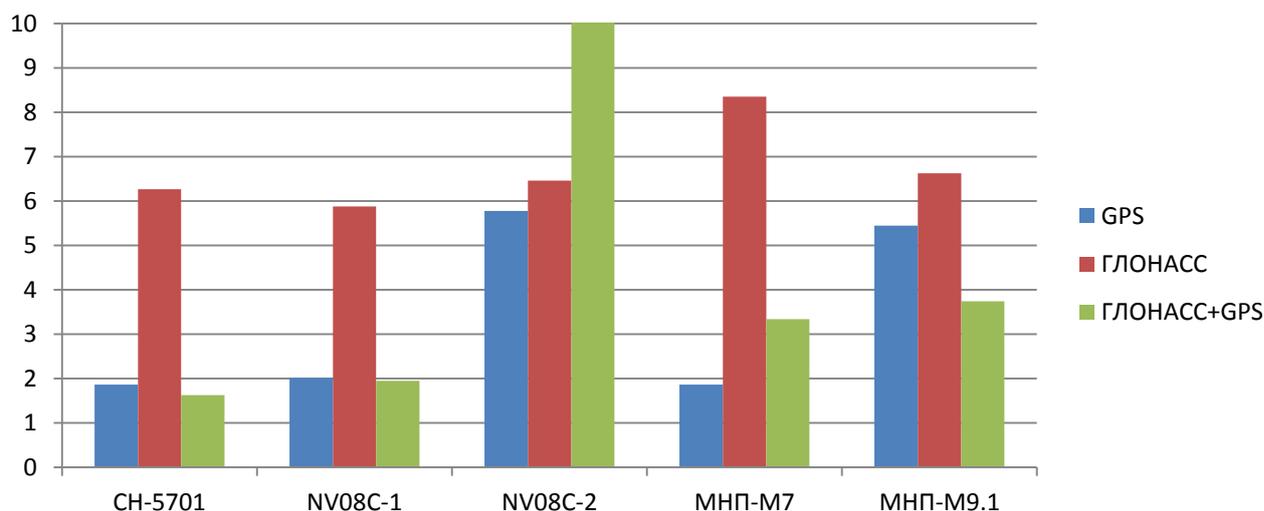


Рисунок 23 Итоговые предельные погрешности НАП в плане (P=0.95) (значения выше 10 обрезаны)

Таблица 9 Итоговые предельные погрешности местоопределений по высоте (P=0.95)

ГНСС \ НАП	НАП-1	НАП-2	НАП-3	НАП-4	НАП-5
GPS	4.51	4.51	4.83	2.78	9.55
ГЛОНАСС	9.70	6.92	7.05	11.74	12.60
ГЛОНАСС+GPS	3.89	4.09	50.14	4.74	8.03

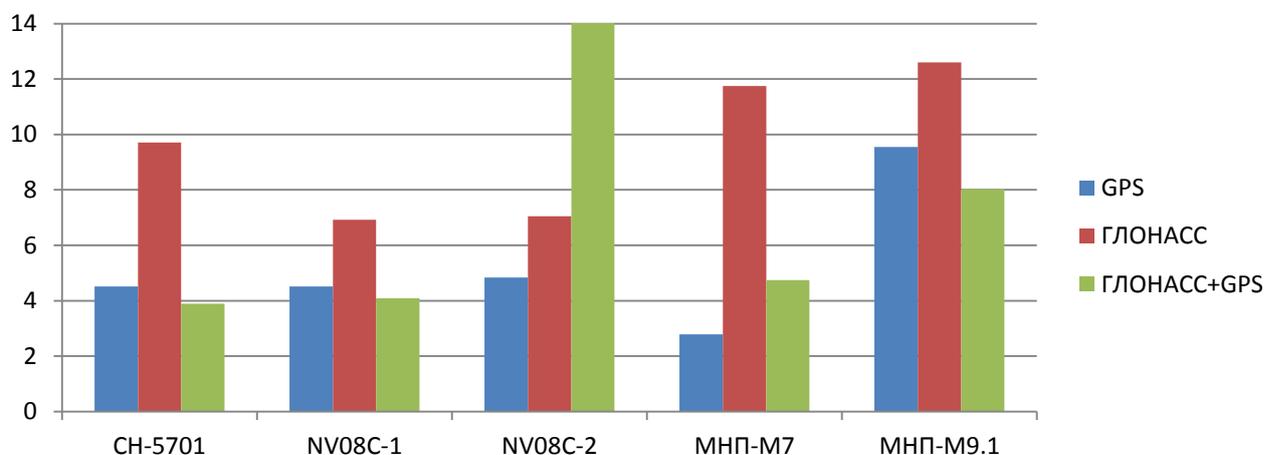


Рисунок 24 Итоговые предельные погрешности НАП по высоте (P=0.95) (значения выше 14 обрезаны)

8.3 Работоспособность и эффективность СДКМ

8.3.1 Проверка работоспособности широкозонного функционального дополнения СДКМ и оценка его эффективности проводились с использованием КНП Sigma. При движении по маршруту в прямом направлении КНП работал в режиме Stand Alone, в обратном направлении - с разрешением режима DGPS при приеме КИ СДКМ (спутники SBAS 125, 140, 141).

8.3.2 Данные о количестве местоопределений приемника Sigma в дифференциальном режиме (абсолютные и в процентах по отношению к общему количеству местоопределений с разрешенным DGPS) приведены в таблице 10.

Таблица 10 Оценка доли местоопределений с использованием КИ СДКМ

Участок	Точек всего	Диффрежим					
		PRN-125		PRN-140		Всего	
		Точек	%	Точек	%	Точек	%
10	5 609	3 482	62%	2 125	38%	5 607	100%
11	4 834	3 638	75%	1 195	25%	4 833	100%
12	4 673	4 150	89%	523	11%	4 673	100%
13	8 141	1 632	20%	6 497	80%	8 129	100%
14	8 514	1 338	16%	7 176	84%	8 514	100%
15	9 069	1 348	15%	7 215	80%	8 563	94%
16	6 971	1 230	18%	5 741	82%	6 971	100%
17	7 608	2 213	29%	5 393	71%	7 606	100%
18	6 322	3 979	63%	2 059	33%	6 038	96%
Итого	61 741	23 010	37%	37 924	61%	60 934	99%

8.3.3 Характеристики точности позиционирования приемника Sigma в абсолютном и дифференциальном режимах были получены путем сравнения соответствующих треков с контрольной траекторией, построенной средствами МИДЛ. Результаты приведены в таблице 11.

Таблица 11. Оценка влияния КИ СДКМ на точность позиционирования КНП Sigma

Участок	По высоте, м				В плане, м				Кол-во место-определений	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		
Абсолютный режим										
1	1.77	1.53	3.01	4.29	2.21	2.07	3.48	5.68	2 925	1.25
2	2.50	2.29	3.86	5.98	1.78	1.51	2.50	3.97	4 971	1.14
3	2.22	2.01	3.54	5.05	0.78	0.64	1.31	4.74	5 280	1.24
4	2.27	1.61	3.92	6.66	1.41	1.02	2.49	5.86	6 445	1.63
5	3.36	2.25	6.12	14.70	1.95	1.59	3.50	5.28	1 496	1.50
6	0.96	0.79	1.58	2.36	1.54	1.11	2.02	8.10	6 612	1.17
7	5.00	5.19	5.84	6.89	1.63	1.40	2.44	3.68	3 232	1.21
8	2.60	2.62	3.40	3.68	1.34	1.39	1.54	1.60	4 973	1.13
9	2.35	1.72	4.07	10.04	1.92	1.92	2.22	2.94	6 142	1.16
Итого	2.35	2.04	3.62	5.98	1.55	1.34	2.22	4.72	42 076	1.26
Дифференциальный режим										
10	1.20	0.52	3.37	3.73	0.63	0.47	1.13	2.65	5 513	1.42
11	1.19	0.66	2.29	3.24	0.76	0.70	1.07	1.53	4 820	1.58
12	0.69	0.41	1.46	1.66	0.90	0.81	1.48	1.54	4 446	1.52
13	0.90	0.64	1.61	3.94	0.83	0.69	1.40	2.58	5 997	1.35
14	1.06	0.47	2.12	2.28	0.55	0.49	0.98	1.32	5 634	1.29
15	0.70	0.24	1.02	5.49	0.54	0.35	1.08	3.15	5 597	1.68
16	0.97	0.81	1.57	2.23	0.52	0.46	0.82	1.53	5 708	1.29
17	1.84	1.16	4.02	5.34	0.83	0.43	1.61	2.78	4 778	1.42
18	2.98	0.95	4.02	25.15	3.69	0.73	3.51	37.25	3 650	2.07
Итого	1.21	0.64	2.30	5.22	0.92	0.56	1.37	4.93	46 143	1.49

8.3.4 Сравнение итоговых данных точности позиционирования приемника Sigma в абсолютном режиме и в диффрежиме с использованием КИ СДКМ показано в виде диаграмм на рисунках 25, 26.

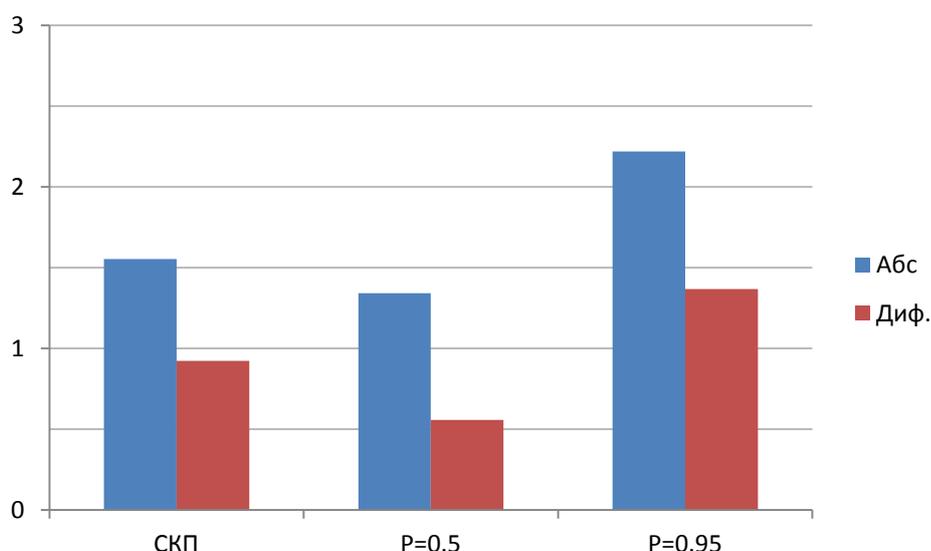


Рисунок 25 Ошибки позиционирования в плане КНП Sigma в абсолютном режиме и в диффрежиме с использованием КИ СДКМ

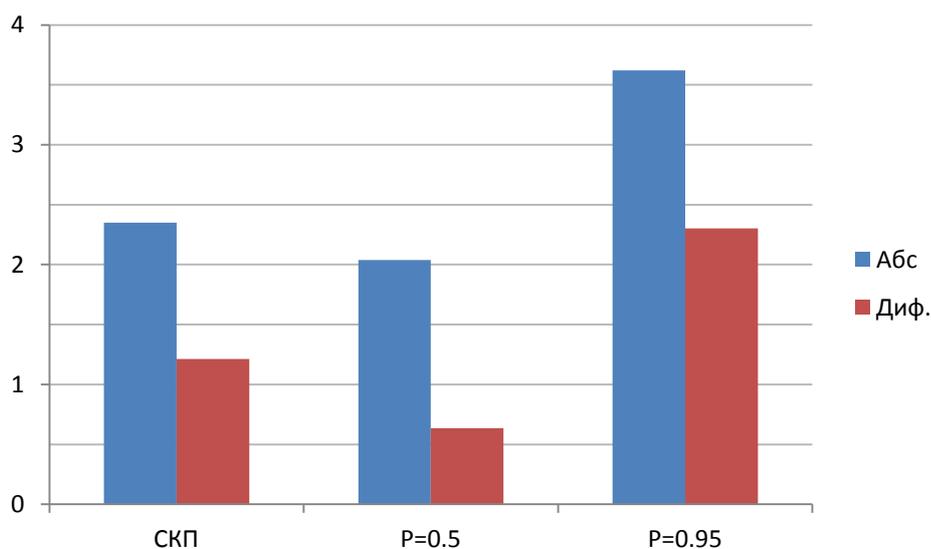


Рисунок 26 Ошибки позиционирования по высоте КНП Sigma в абсолютном режиме и в диффрежиме с использованием КИ СДКМ

8.4 Покрытие транспортного коридора сотовой связью

8.4.1 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.

8.4.2 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 навигационного приемника НАП-2.

8.4.3 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.

8.4.4 В таблице 12 перечислены сотовые операторы, сигнал от базовых станций которых был зарегистрирован в процессе испытаний (идентификация с соответствии с [Network Codes List](#)).

Таблица 12 Сотовые операторы на трассах транспортного коридора

PLMN-код оператора	Оператор сотовой связи
25001	МТС
25099	Билайн
25002	Мегафон
25020	Теле2
25007	ЗАО Смартс

8.4.5 Результаты анализа доступности сотовой связи в режиме GPRS на участках трассы представлены в таблице 13 и на рисунке 27.

Таблица 13 Покрытие участков трассы эксперимента сотовой связью в режиме GPRS

Оператор	Участок трассы									Итого
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
МТС	100%	100%	100%	100%	99%	100%	100%	100%	100%	100%
Билайн	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Мегафон	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Прочие	18%	100%	99%	100%	100%	110%	84%	11%	0%	73%
Все	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

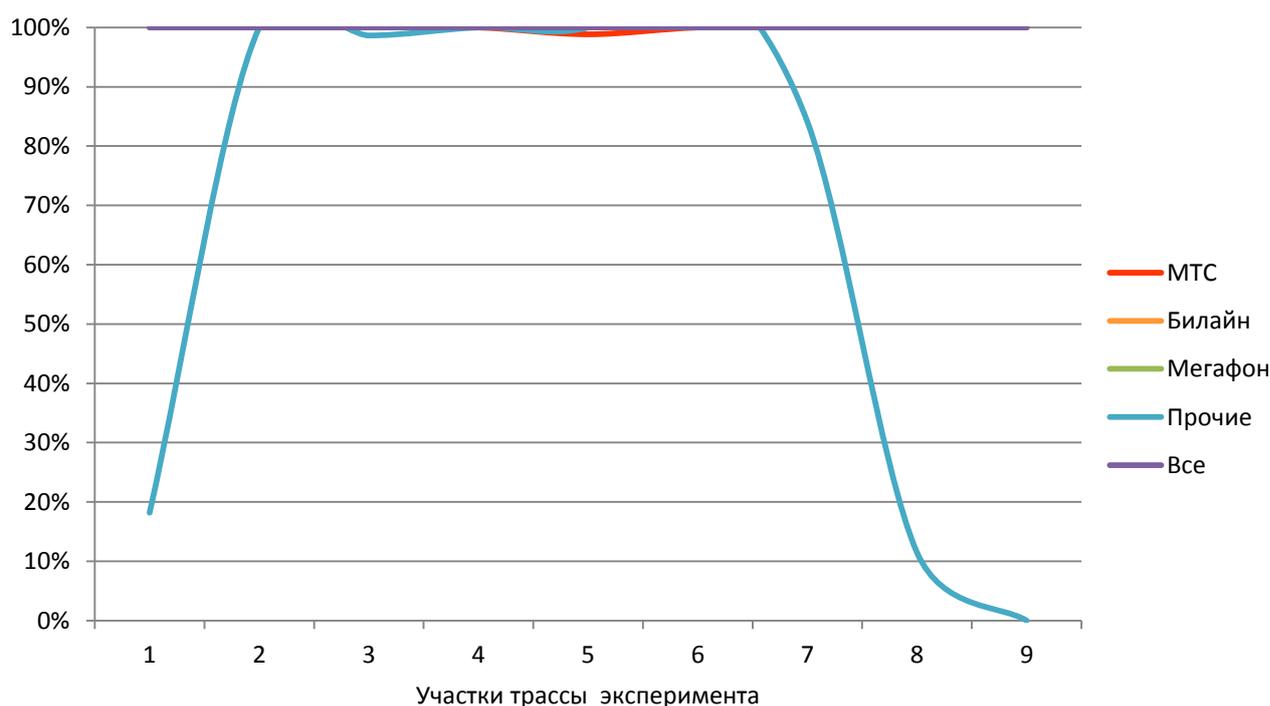


Рисунок 27 Покрытие участков трассы эксперимента сотовой связью в режиме GPRS

8.4.6 Результаты доступности сотовой связи в режиме 3G на участках трассы представлены в таблице 14 и на рисунке 28.

Таблица 14 Покрытие участков трассы эксперимента сотовой связью в режиме 3G

Оператор	Участок трассы									Итого
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
МТС	96%	68%	81%	65%	20%	55%	52%	49%	45%	57%
Билайн	98%	89%	84%	34%	45%	78%	97%	90%	94%	76%
Мегафон	98%	75%	65%	22%	74%	86%	99%	100%	96%	77%
Прочие	73%	46%	61%	50%	68%	93%	50%	0%	0%	49%
Все	100%	95%	92%	74%	87%	98%	99%	100%	99%	93%

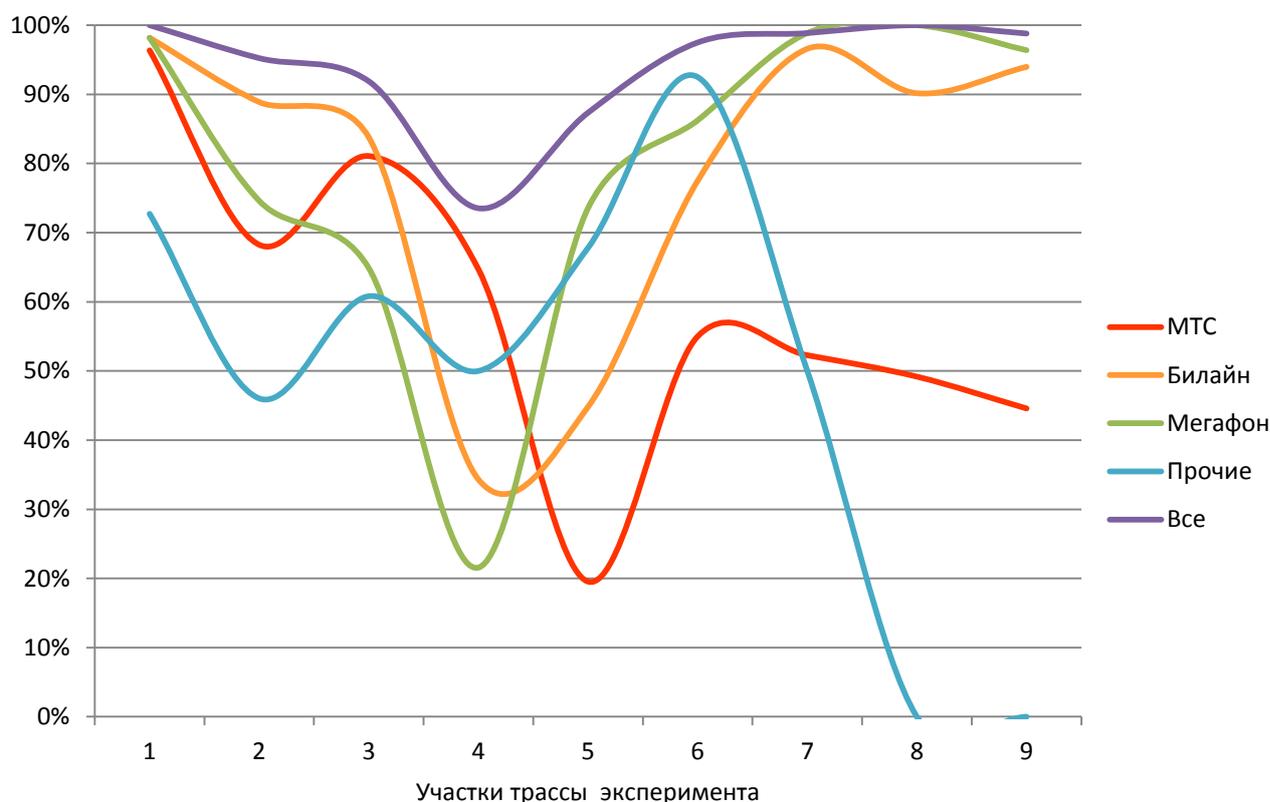


Рисунок 28 Покрытие участков трассы эксперимента сотовой связью в режиме 3G

8.4.7 Более детально покрытие участков транспортного коридора сотовой связью в режимах GPRS и 3G приведено в Приложениях 1, 2.

9 ВЫВОДЫ

9.1 Выводы по условиям спутниковой навигации

9.1.1 Средние значения количества НКА достаточны для уверенной навигации как по ГЛОНАСС, так и по GPS.

9.1.2 Отдельные кратковременные провалы количества НКА вызваны прохождением дороги под мостами и эстакадами.

9.1.3 Относительно проблемным является участок трассы в районе Борисоглебска протяженностью около 15 км. При прохождении маршрута в прямом направлении

наблюдалось уменьшение количества видимых НКА по отдельным ГНСС до 3-х, что является недостаточным значением для определения трехмерных координат при навигации по только одной из ГНСС. При прохождении в обратном направлении на этом участке также наблюдалось уменьшение количества НКА, но не столь критичное.

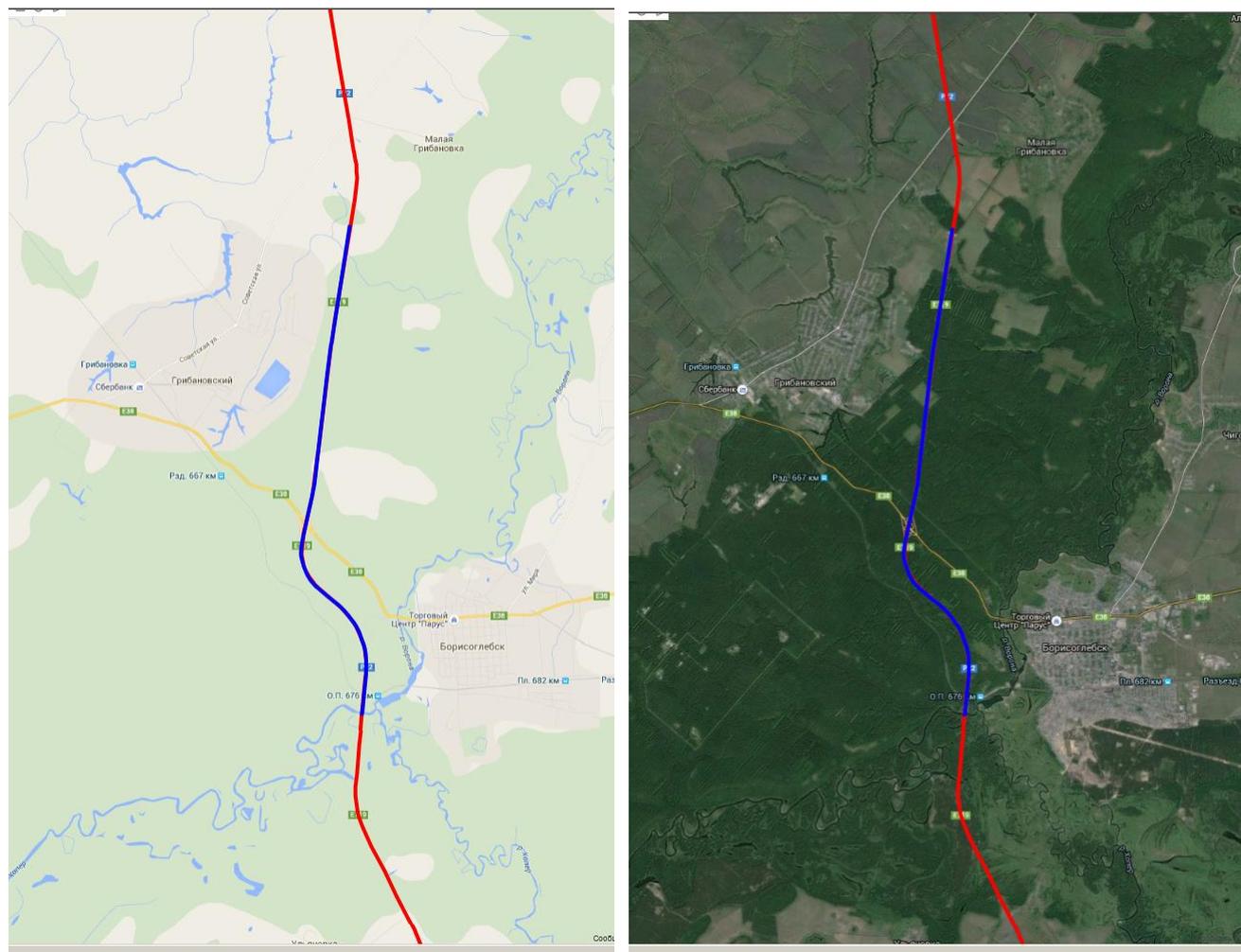


Рисунок 29 Фрагмент участка 4, где наблюдались ухудшение условий спутниковой навигацией (синяя линия)

9.2 Выводы по результатам испытаний НАП

9.2.1 Лучшие результаты по точности позиционирования на маршруте эксперимента показали НАП-1, НАП-2, НАП-4. У всех НАП точность позиционирования достаточна для уверенной навигации во всех режимах. При этом точность позиционирования в режиме GPS и в совмещенном режиме несколько лучше, чем в режиме ГЛОНАСС.

9.2.2 Результаты НАП-3 с экспериментальным ПО по точности позиционирования в плане во всех режимах хуже, чем у такого же приемника с штатным ПО (НАП-2). В точности по высоте такой разницы не наблюдается. Исключением являются большие ошибки в совмещенном режиме, вызванные разовым сбоем в работе НАП, который привел к сильным отклонениям.

9.2.3 Результаты НАП-5 в целом хуже, чем у НАП того же производителя предыдущего поколения (НАП-4). Наблюдалось незначительное улучшение точности позиционирования в плане в режиме ГЛОНАСС.

9.3 Выводы по результатам оценки СДКМ

9.3.1 На маршруте испытаний контрольный приемник с разрешенным диффрежимом при использовании КИ от СДКМ работал в диффрежиме 99% времени, используя в 37% случаев КИ от PRN-125 и в 61% - КИ от PRN-140.

9.3.2 При получении КИ СДКМ наблюдалось значительное, практически в два раза, улучшение точности позиционирования по сравнению с абсолютным режимом. Так предельная погрешность по уровню вероятности 0.95 определения координат в плане при переходе в диффрежим уменьшилась с 2.22 до 1.37 м., а по уровню вероятности 0.5 - с 1.34 до 0.56 м.

9.4 Выводы по результатам проверки покрытия сотовой связью

9.4.1 Покрытие трассы в режиме GSM/GPRS как в целом, так и каждым из основной тройки операторов (МТС, Билайн, Мегафон) на маршруте эксперимента составляет 100%. Таким образом, пакетная передача данных с использованием технологии GPRS возможна на всем маршруте.

9.4.2 Покрытие трассы сотовой связью в режиме 3G совокупностью операторов сотовой связи составляет 93%. В районе крупных городов – Москвы, Тамбова, Волгограда, Астрахани достигает 100%. Минимальное значение - 74% - на отрезке Тамбов - Борисоглебск. Проблемным в режиме 3G является участок в районе Борисоглебска.

9.4.3 Таким образом, передача корректирующей информации для высокоточных методов спутниковой навигации, а также данных мониторинга транспорта и грузов по сетям сотовой связи в транспортном коридоре возможна: в режиме GPRS (максимальная скорость 171.2 Кбит/с) практически в 100% случаев, в режиме 3G (максимальная скорость 3.6 Мбит/с) – в 93% случаев.

Зам. начальника отдела 3041

А.А.Бермишев

И.о. начальника лаборатории отд. 3041

В.Л.Лапшин

Ведущий инженер отд. 3041

Д.В.Виндерских

Ведущий инженер отд. 3041

Э.А.Соколова

Приложение 1. Обеспечение сотовой связью на участках транспортного коридора (все операторы, режимы GPRS и 3G)

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. Выше и правее – линия, соответствующая режиму **GPRS**. Ниже и левее – линия, соответствующая режиму **3G**.



Рисунок 30 GPRS/3G. Все сотовые операторы. Фрагмент 1

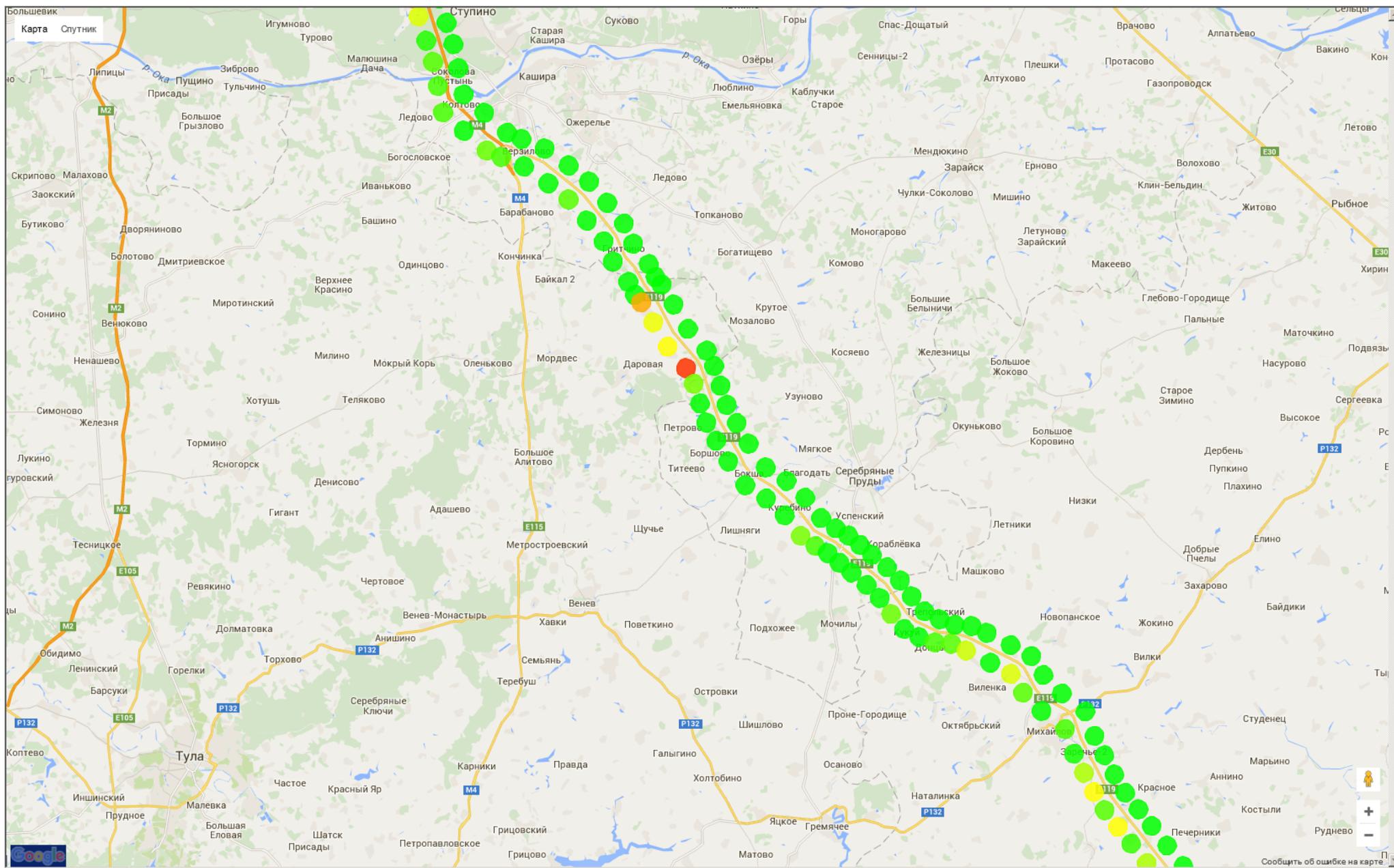


Рисунок 31 GPRS/3G. Все сотовые операторы. Фрагмент 2

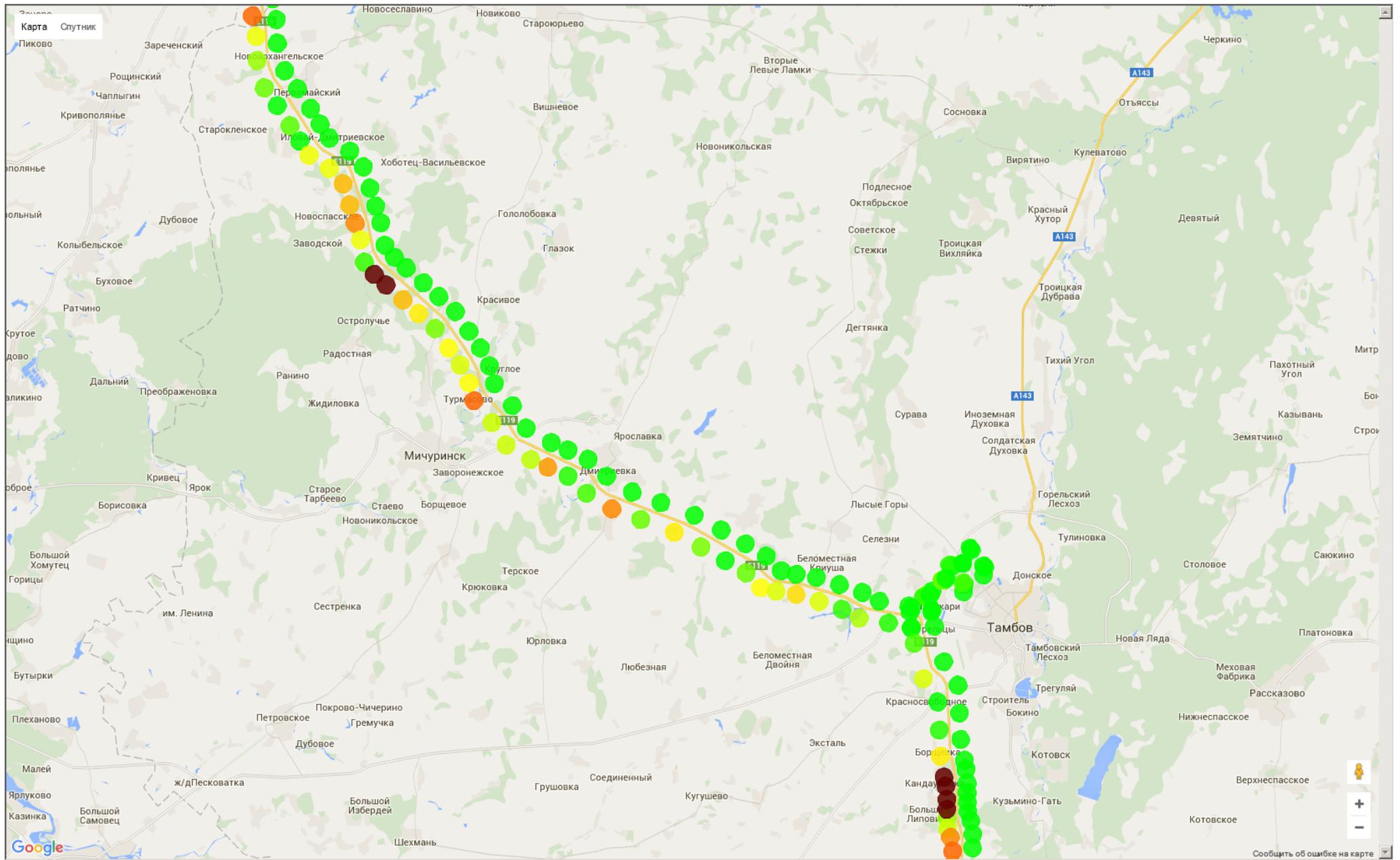


Рисунок 33 GPRS/3G. Все сотовые операторы. Фрагмент 4

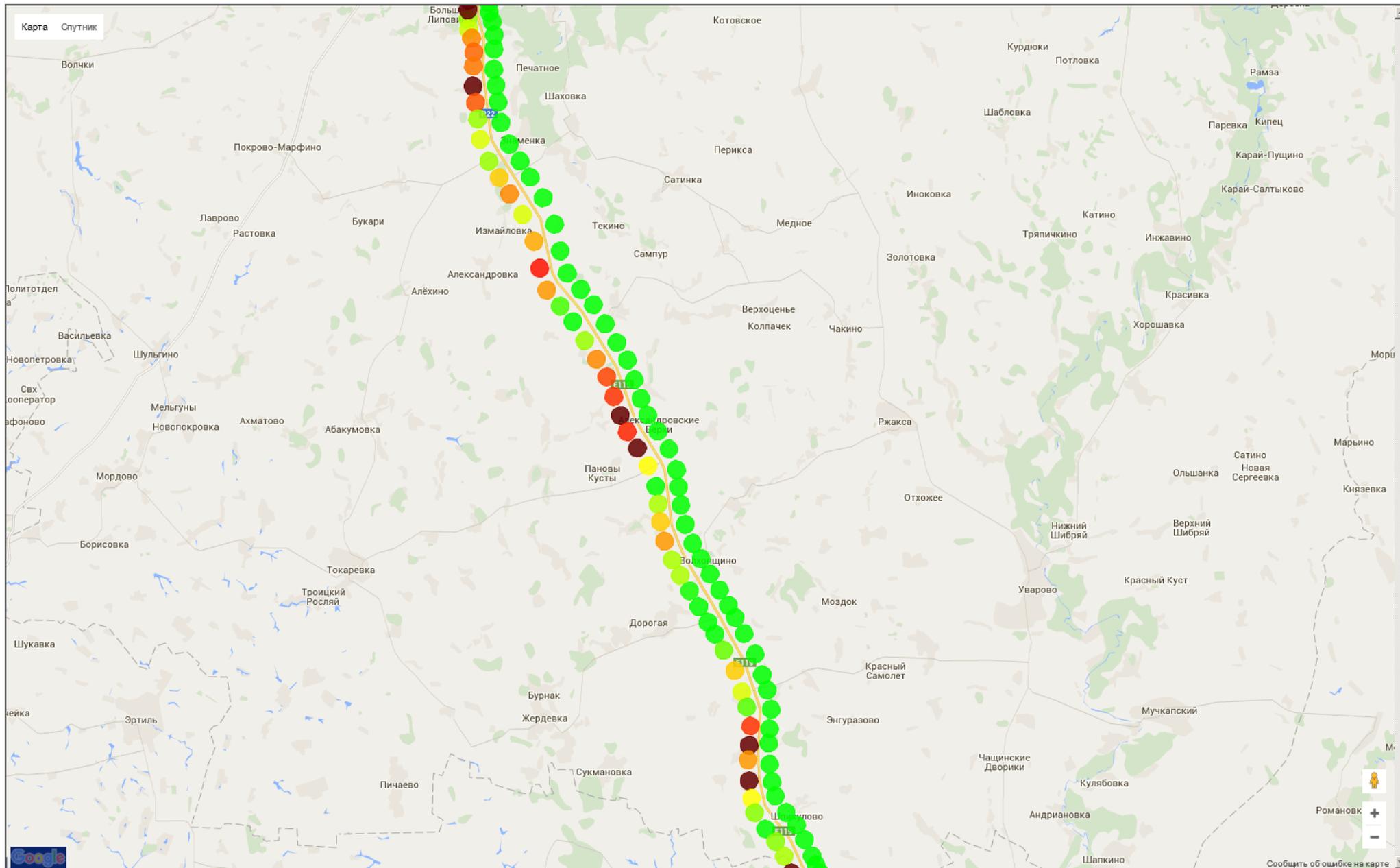


Рисунок 34 GPRS/3G. Все сотовые операторы. Фрагмент 5

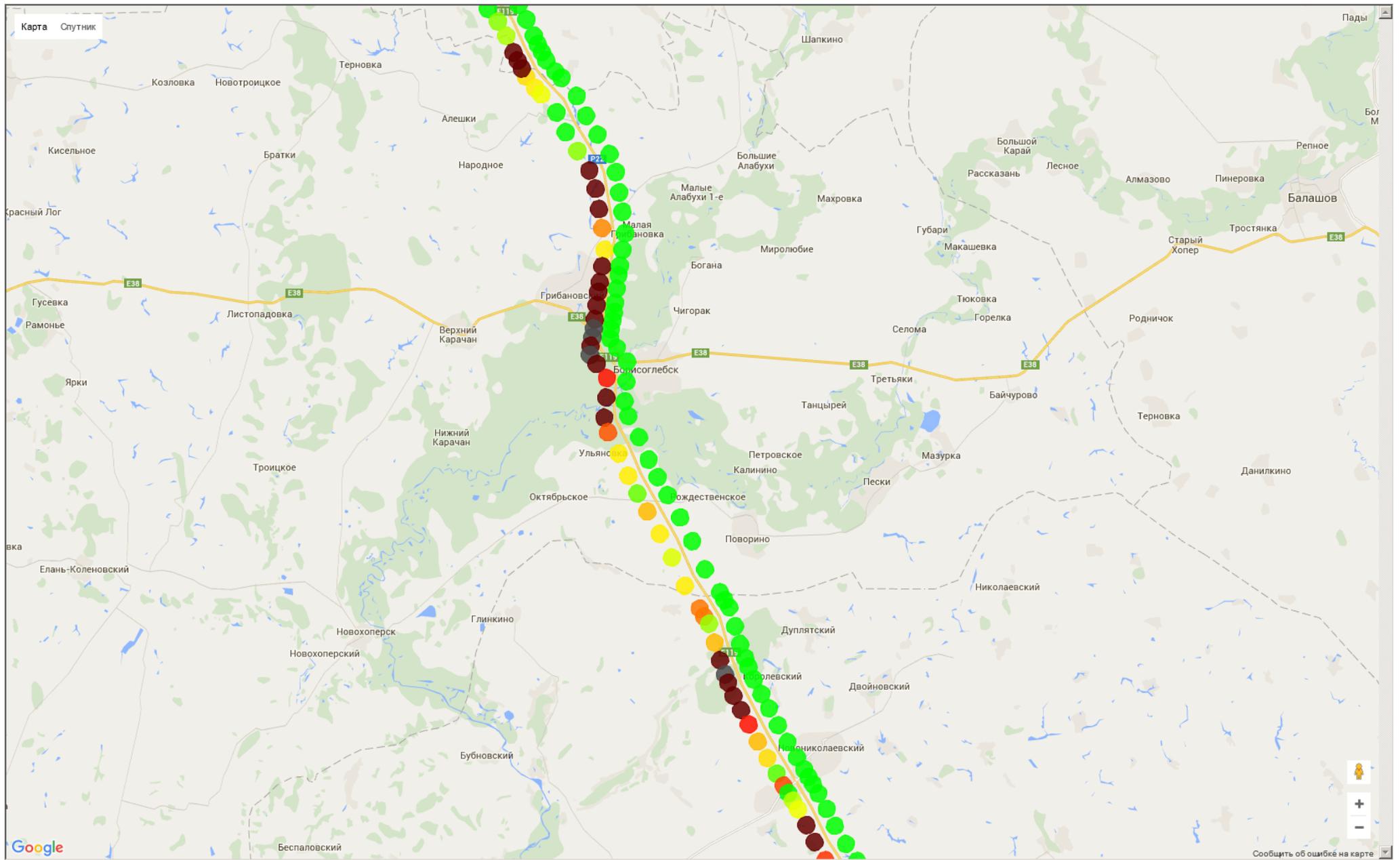


Рисунок 35 GPRS/3G. Все сотовые операторы. Фрагмент 6

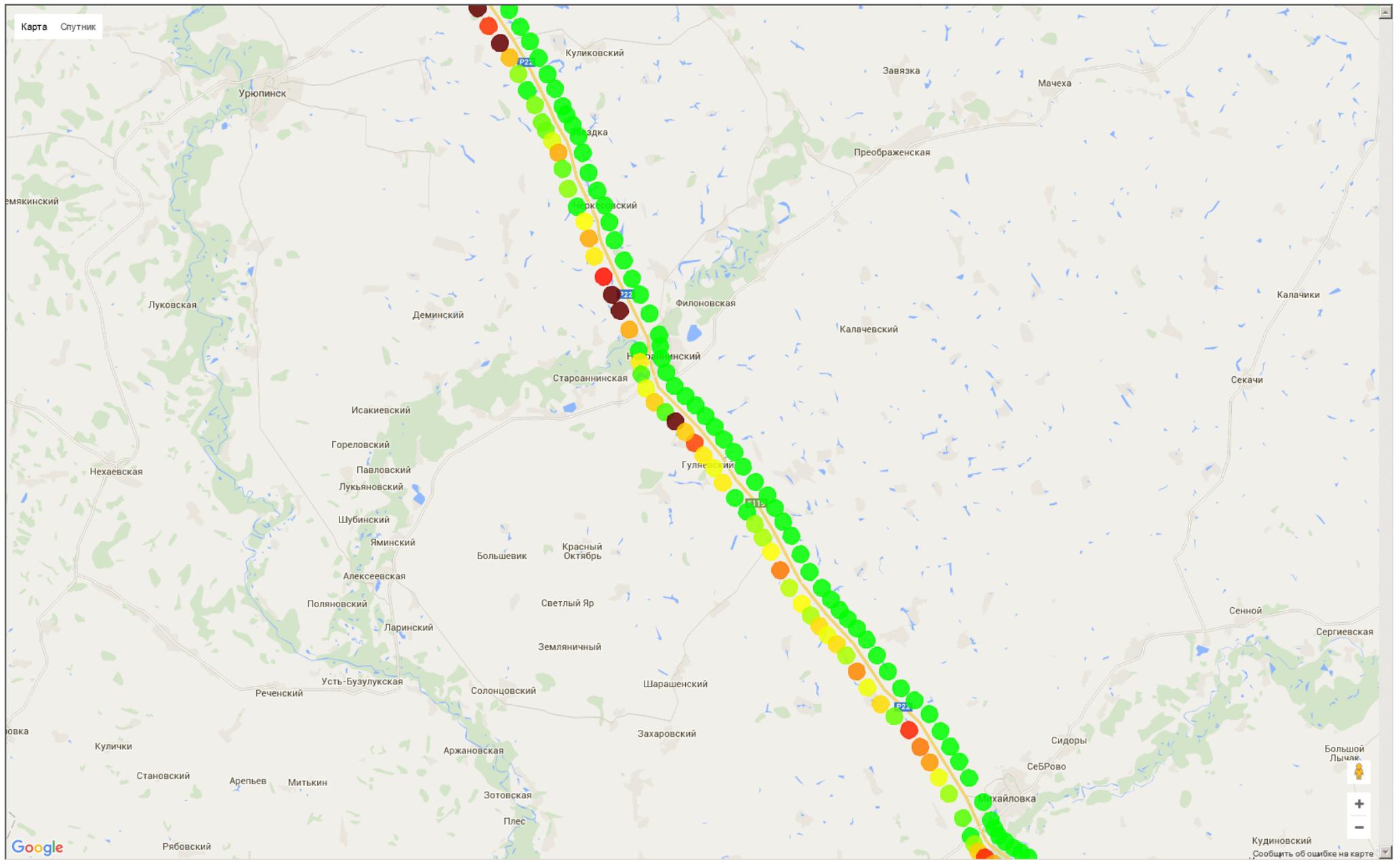


Рисунок 36 GPRS/3G. Все сотовые операторы. Фрагмент 7

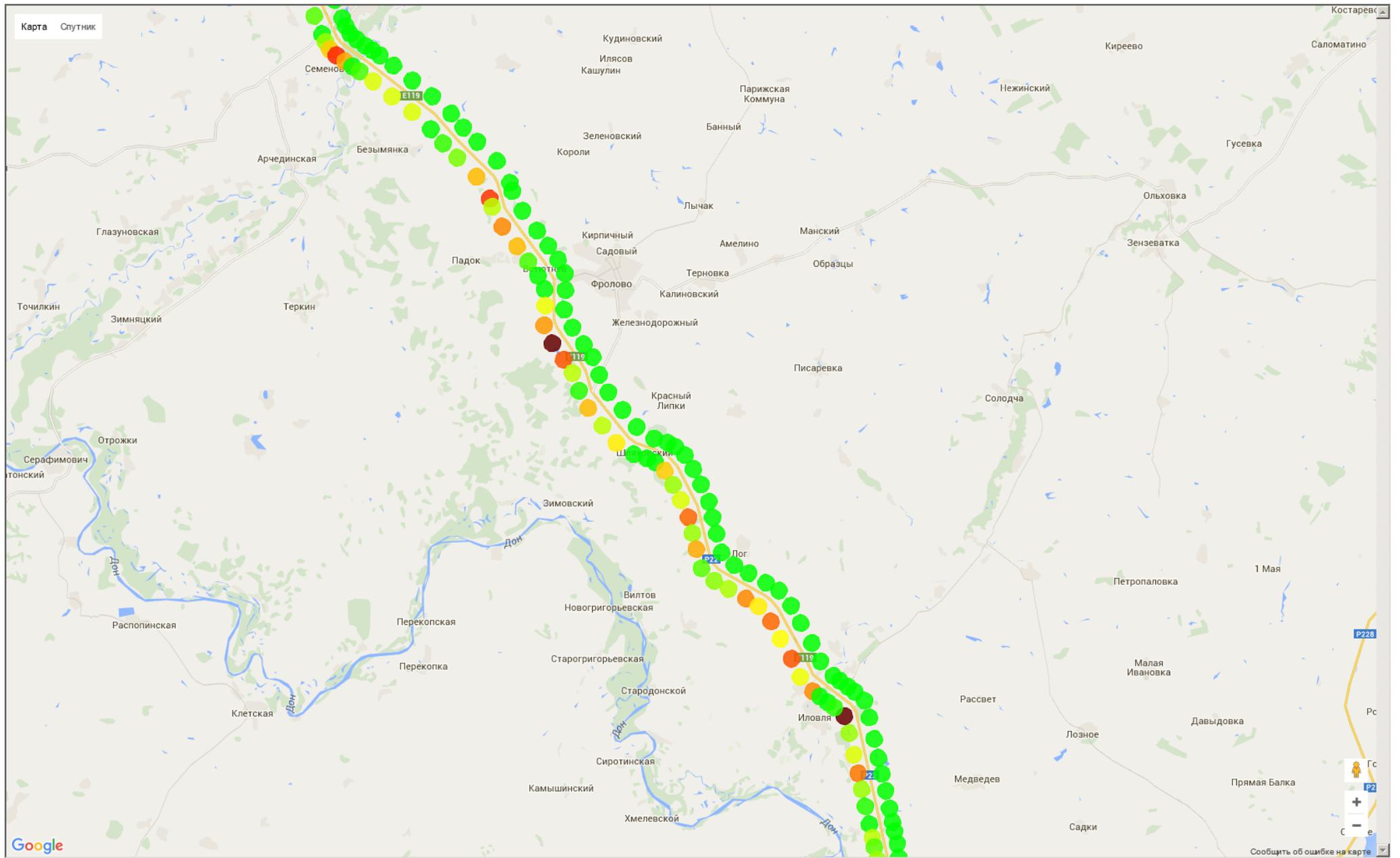


Рисунок 37 GPRS/3G. Все сотовые операторы. Фрагмент 8

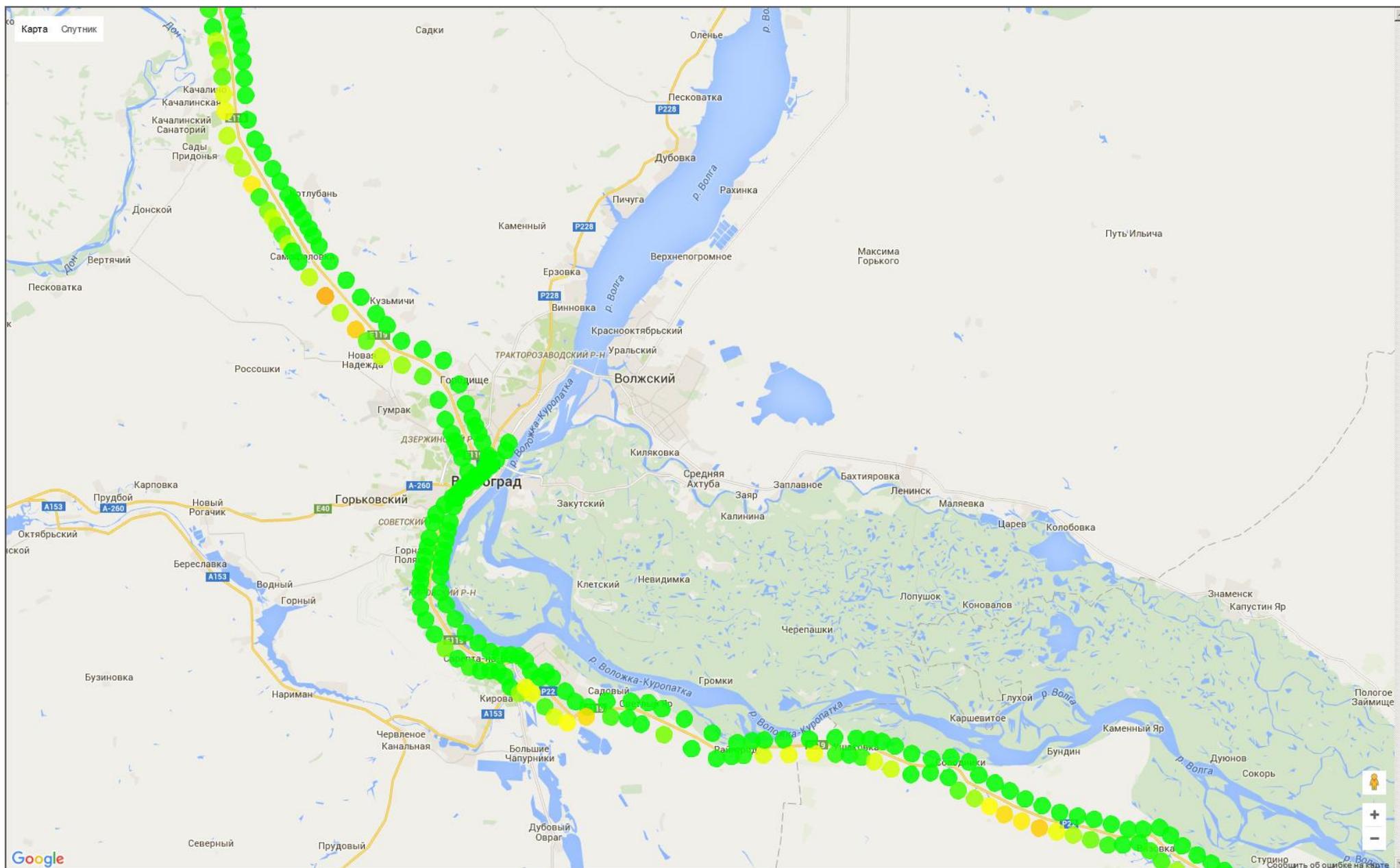


Рисунок 38 GPRS/3G. Все сотовые операторы. Фрагмент 9

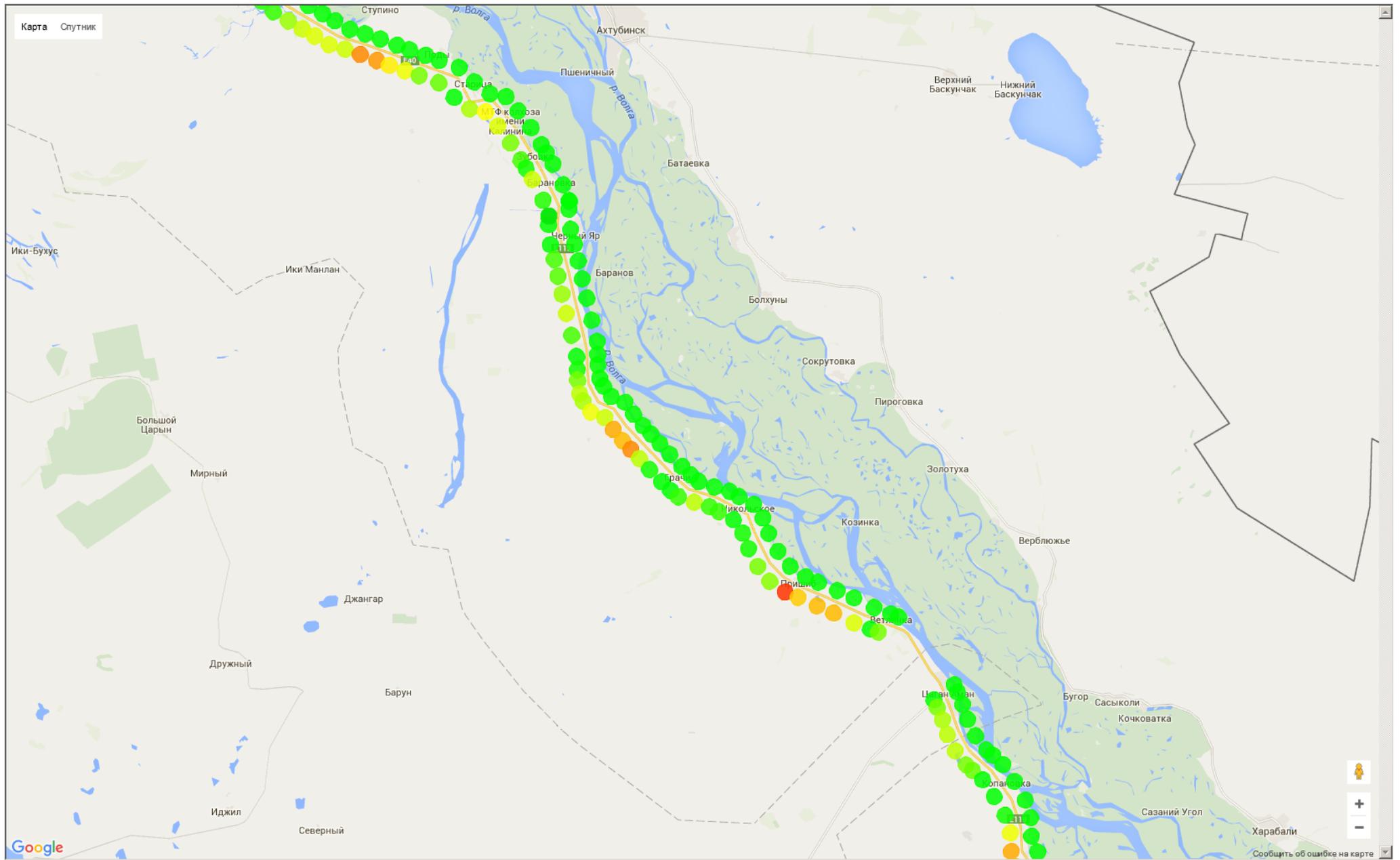


Рисунок 39 GPRS/3G. Все сотовые операторы. Фрагмент 10

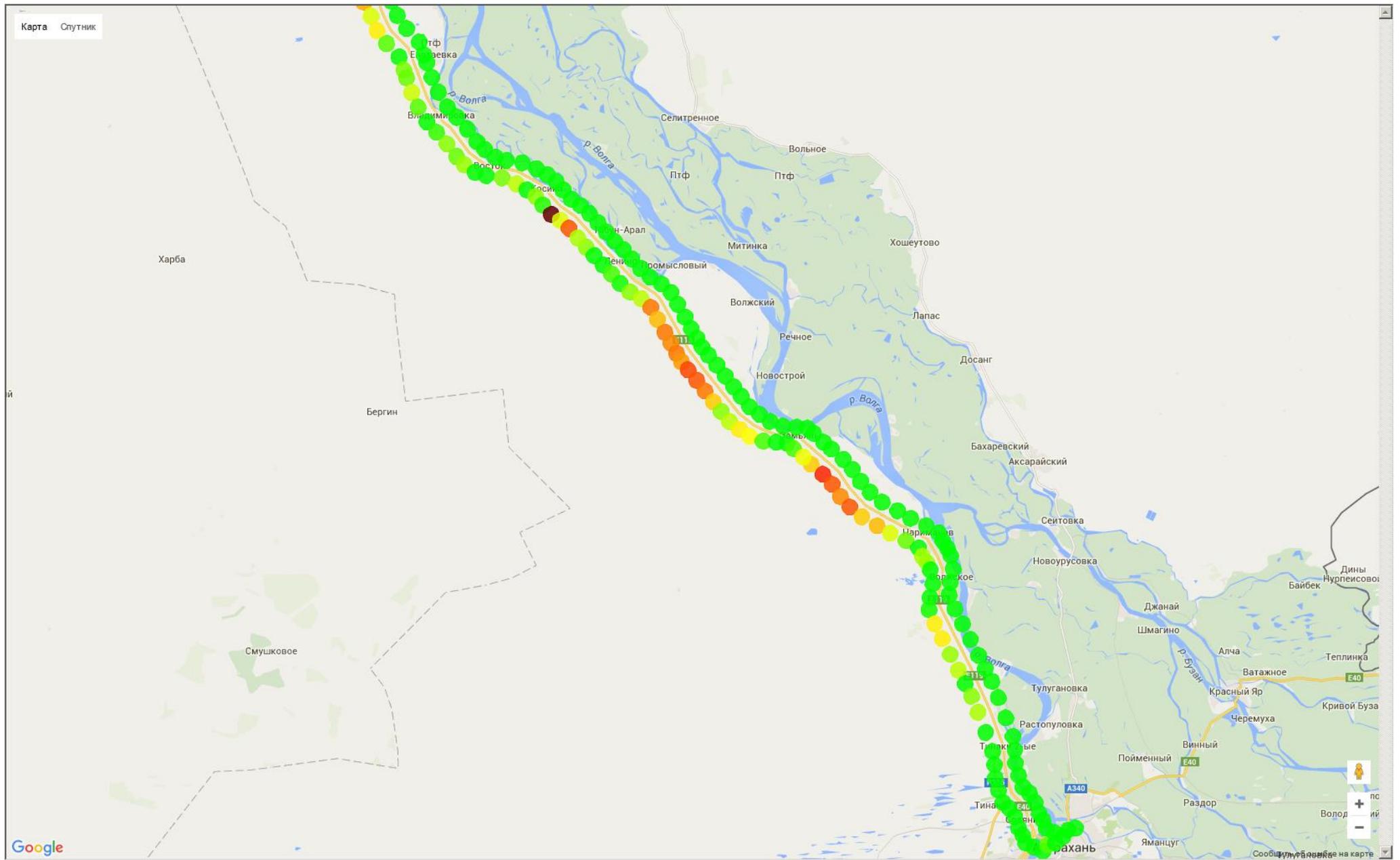


Рисунок 40 GPRS/3G. Все сотовые операторы. Фрагмент 11

Приложение 2. Обеспечение сотовой связью на участках транспортного коридора (МТС, Билайн, Мегафон, режим 3G)

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



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

На всех диаграммах – три линии, идущие параллельно маршруту, соответственно для трех операторов сотовой связи. По центру - линия, соответствующая **МТС**. Левее – линия **Билайн**. Правее – линия **Мегафон**.

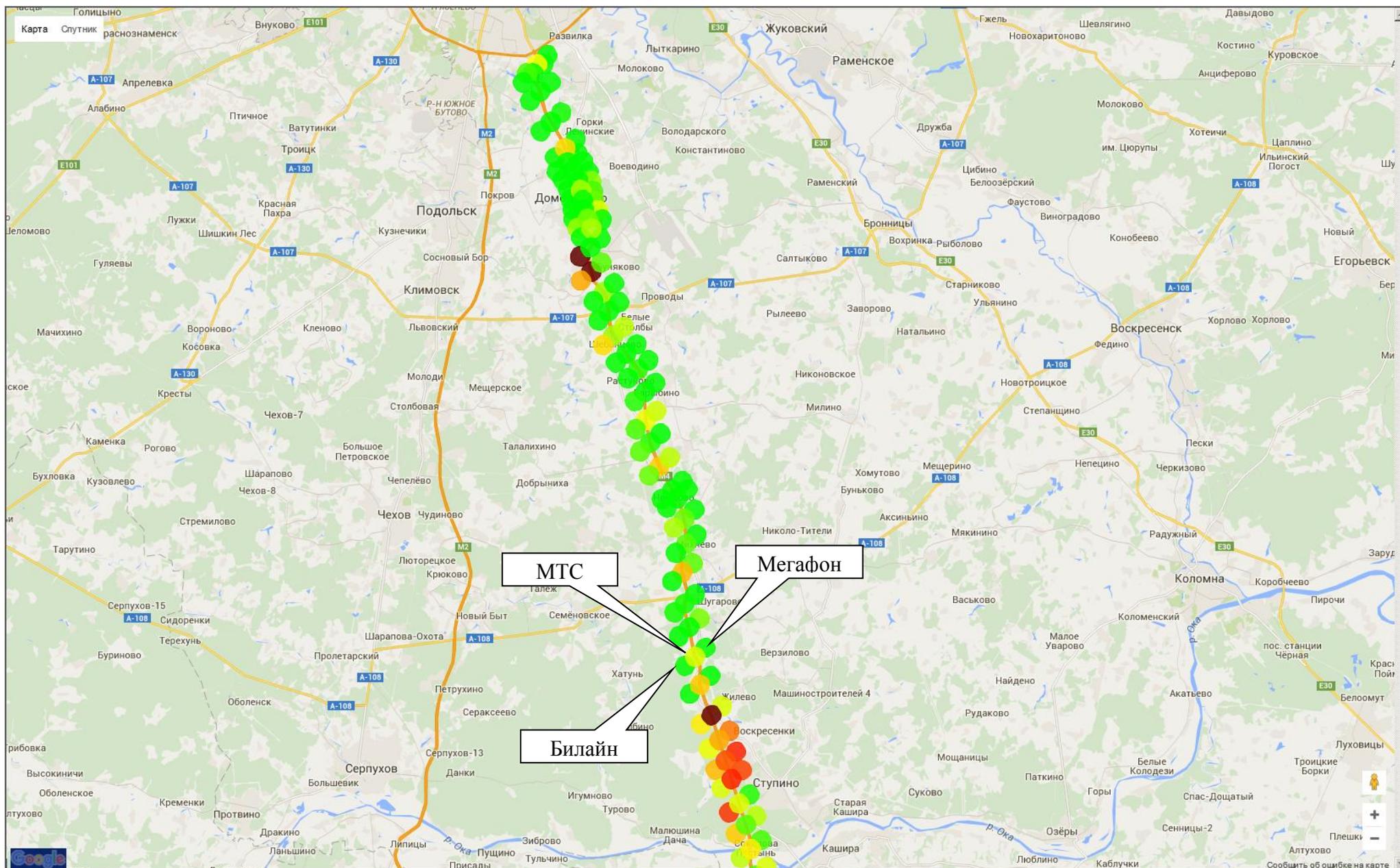


Рисунок 41 Режим 3G. Основные сотовые операторы. Фрагмент 1

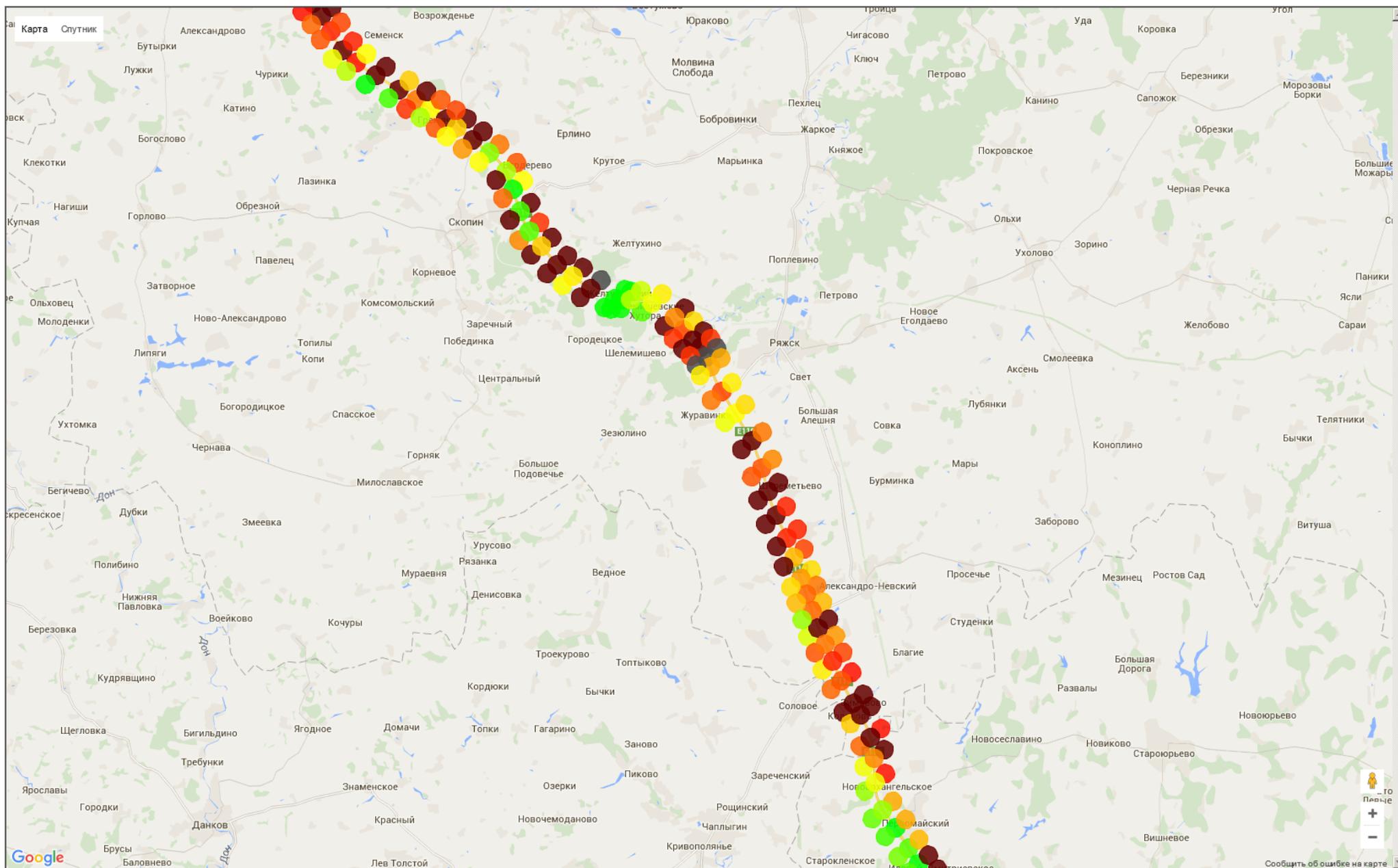


Рисунок 43 Режим 3G. Основные сотовые операторы. Фрагмент 3

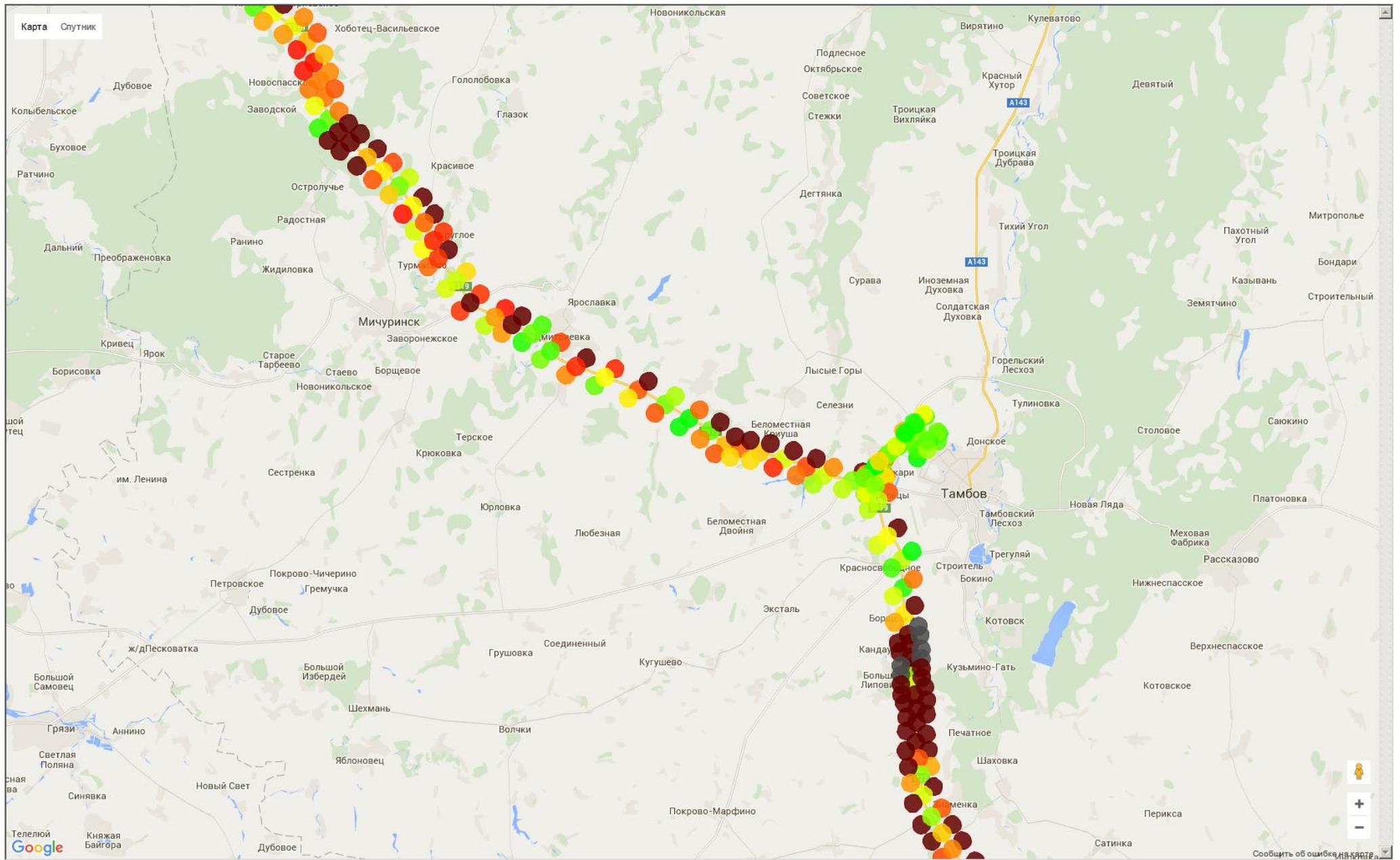


Рисунок 44 Режим 3G. Основные сотовые операторы. Фрагмент 4

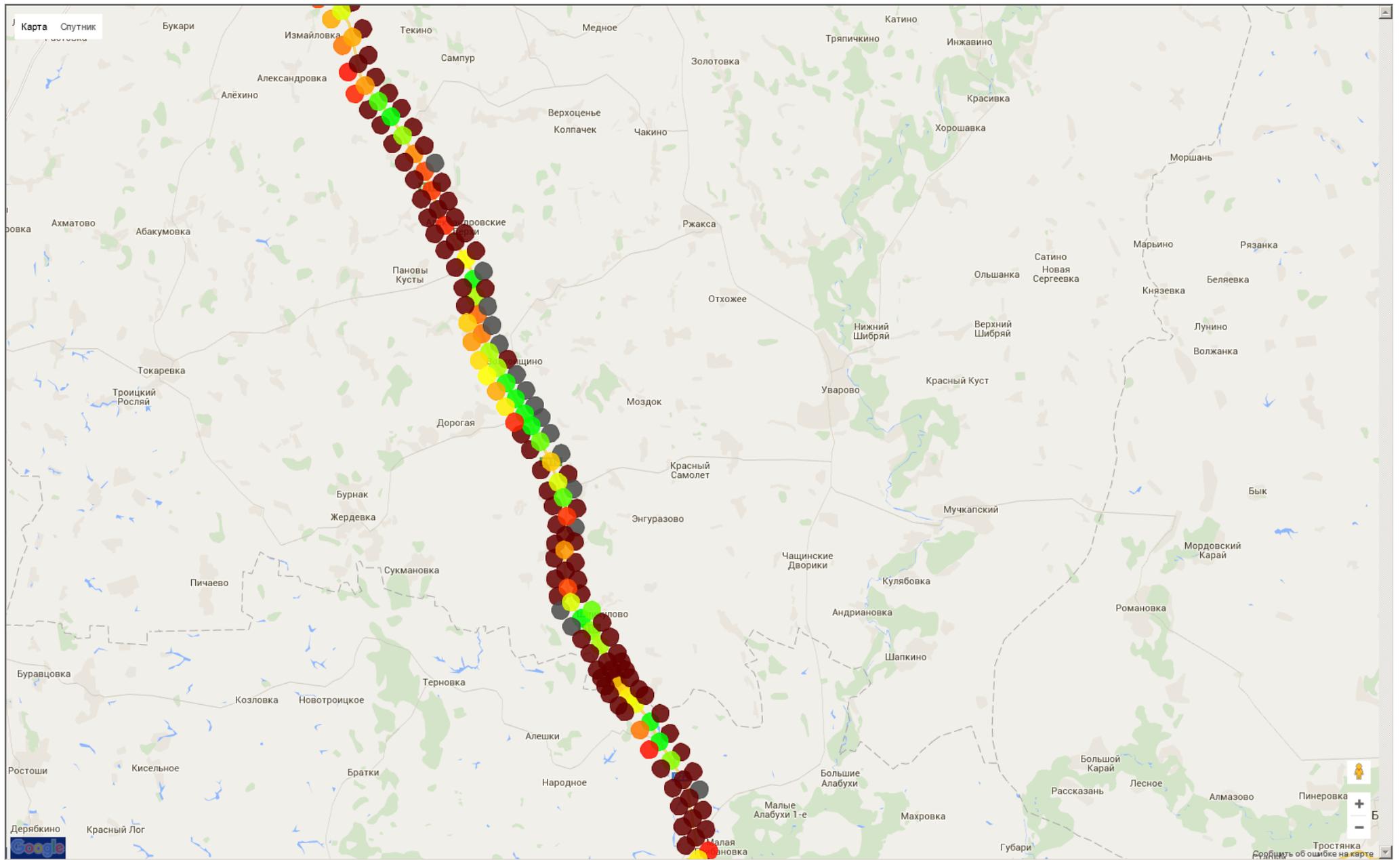


Рисунок 45 Режим 3G. Основные сотовые операторы. Фрагмент 5

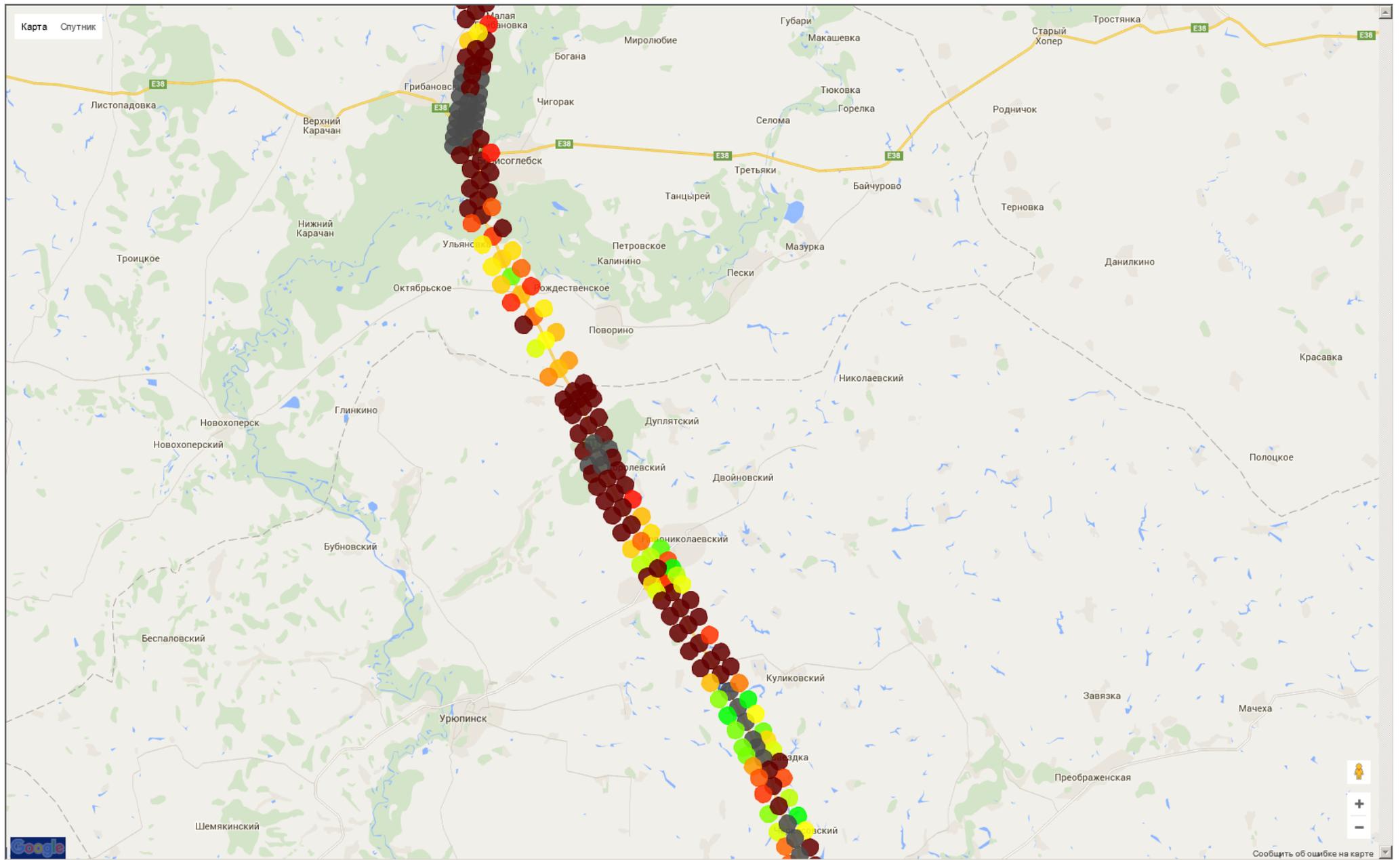


Рисунок 46 Режим 3G. Основные сотовые операторы. Фрагмент 6

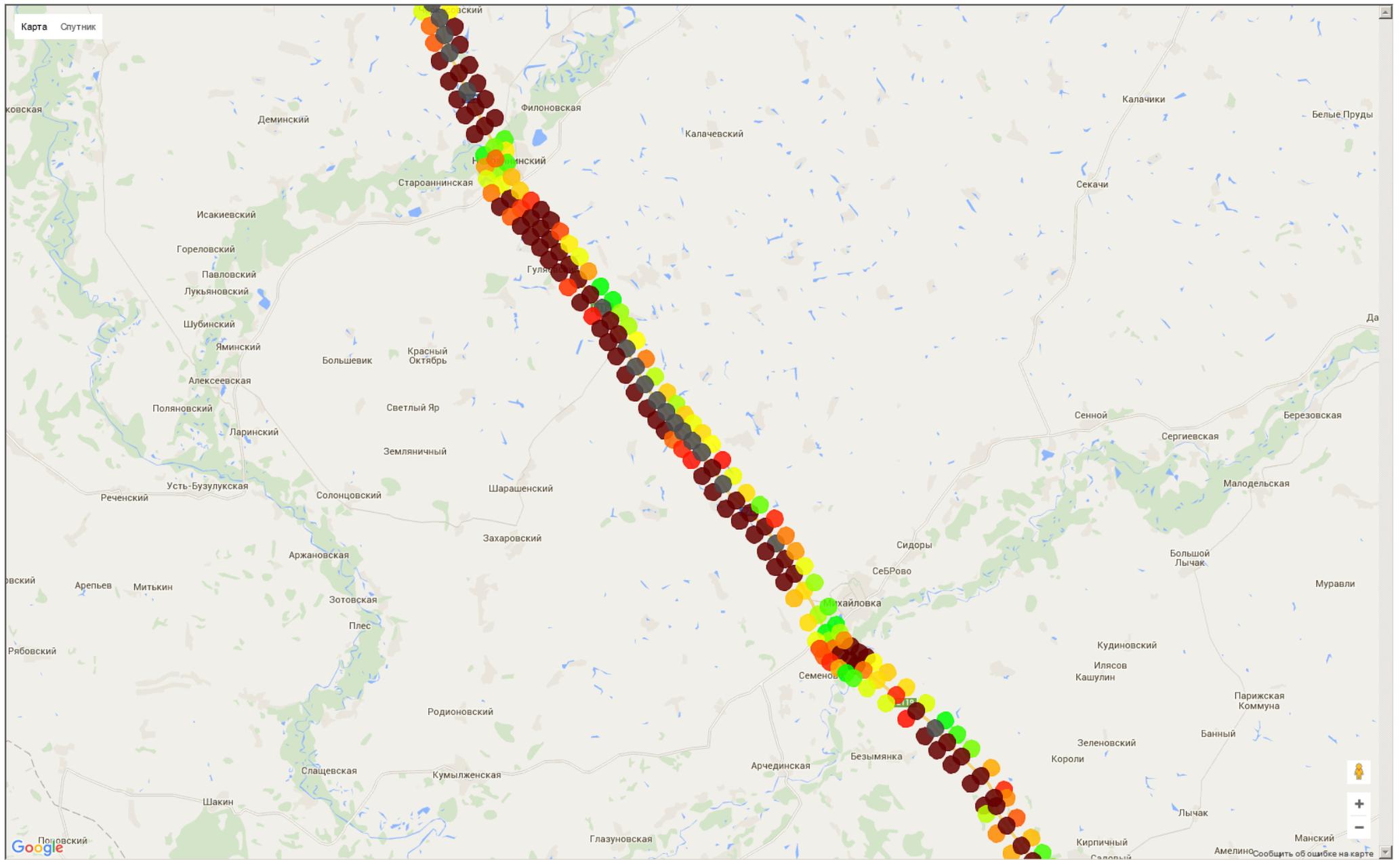


Рисунок 47 Режим 3G. Основные сотовые операторы. Фрагмент 7

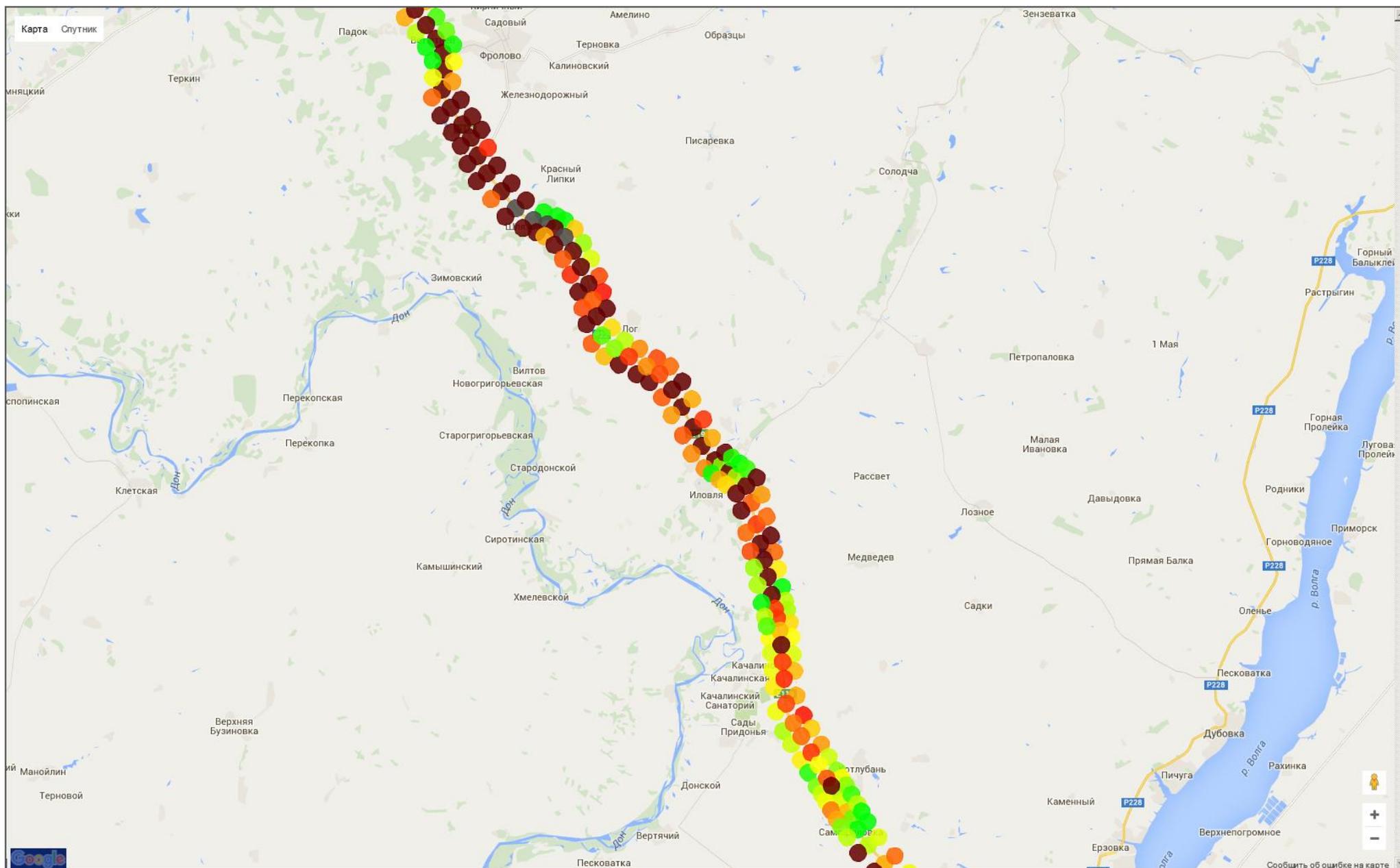


Рисунок 48 Режим 3G. Основные сотовые операторы. Фрагмент 8

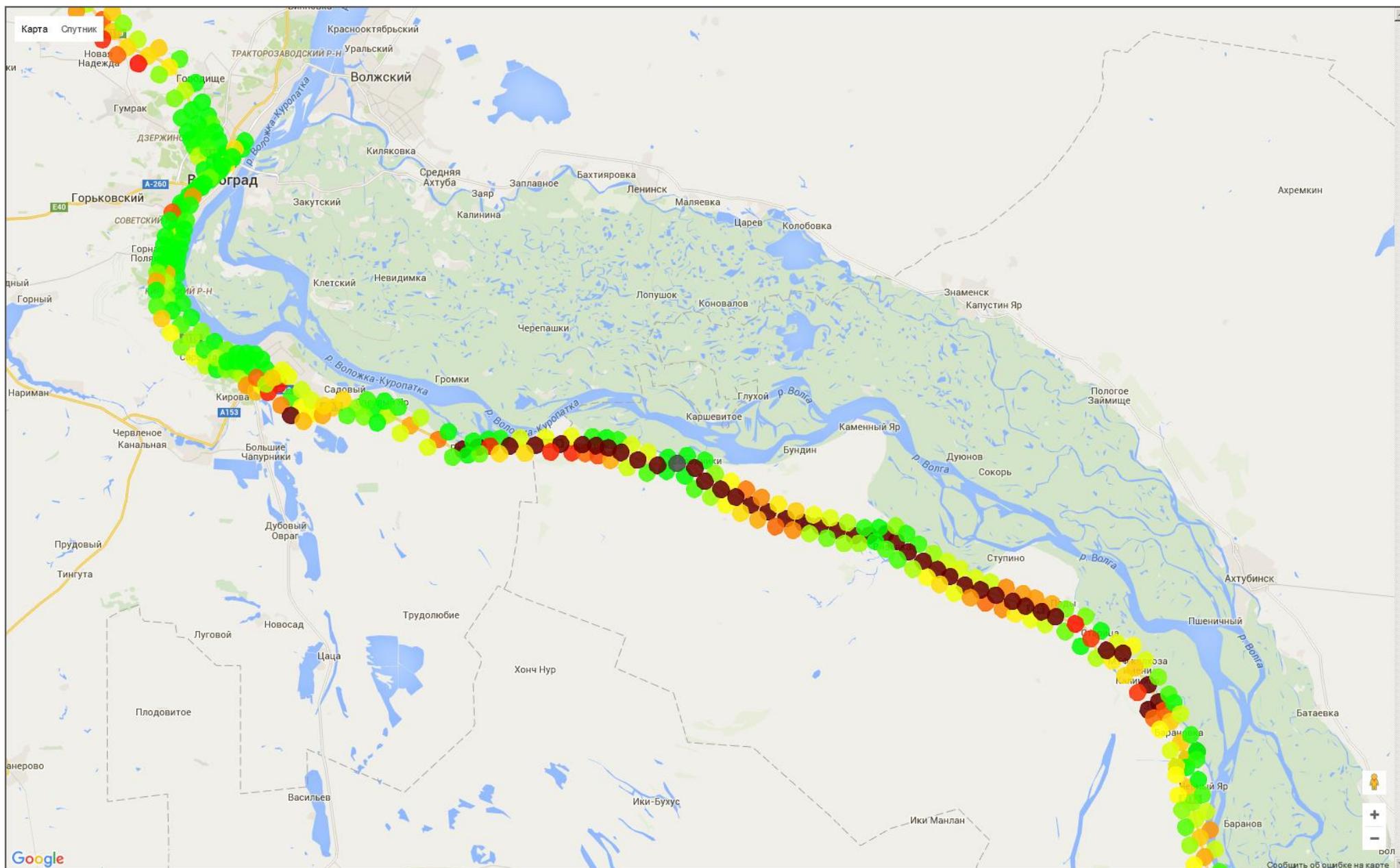


Рисунок 49 Режим 3G. Основные сотовые операторы. Фрагмент 9

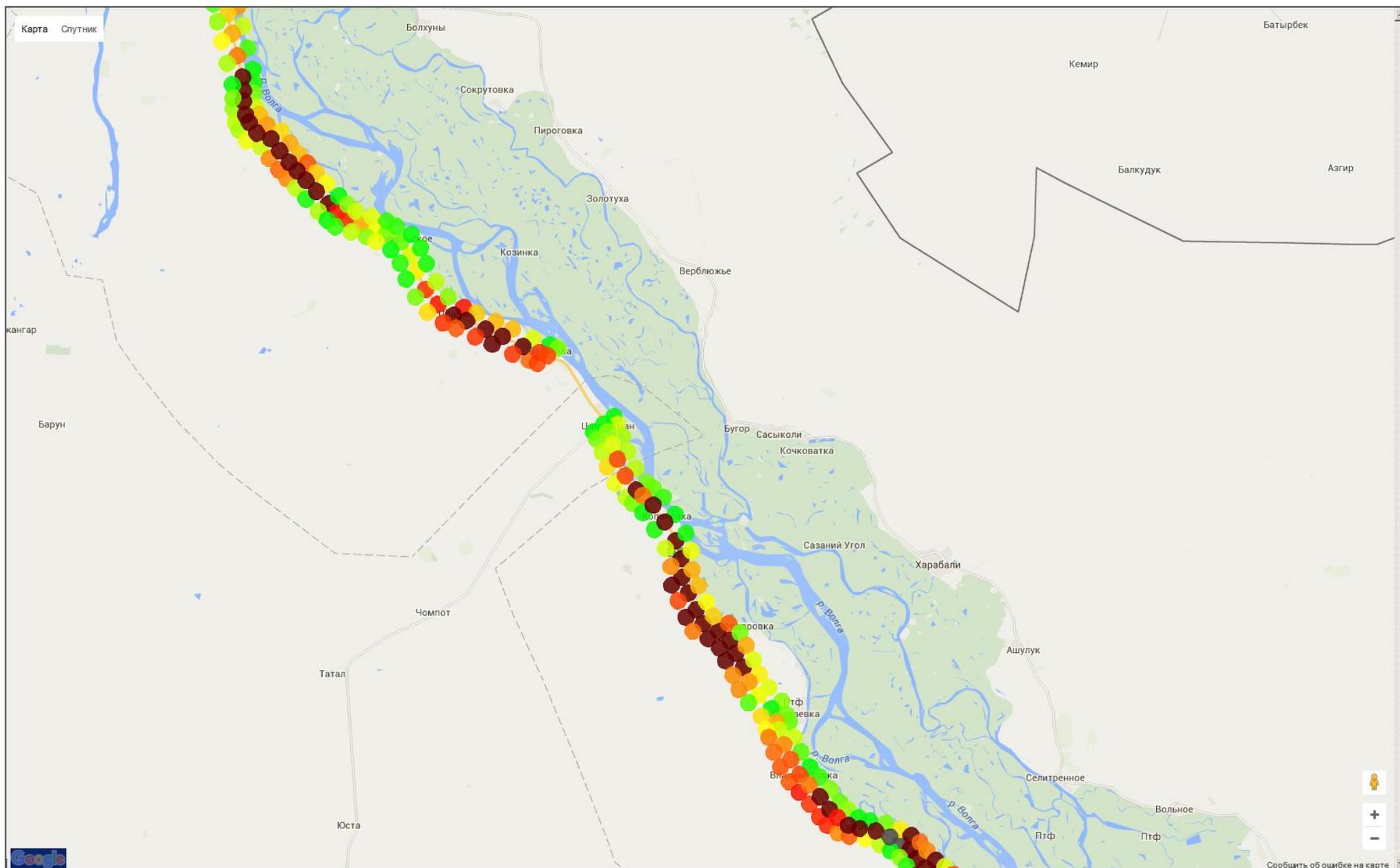


Рисунок 50 Режим 3G. Основные сотовые операторы. Фрагмент 10

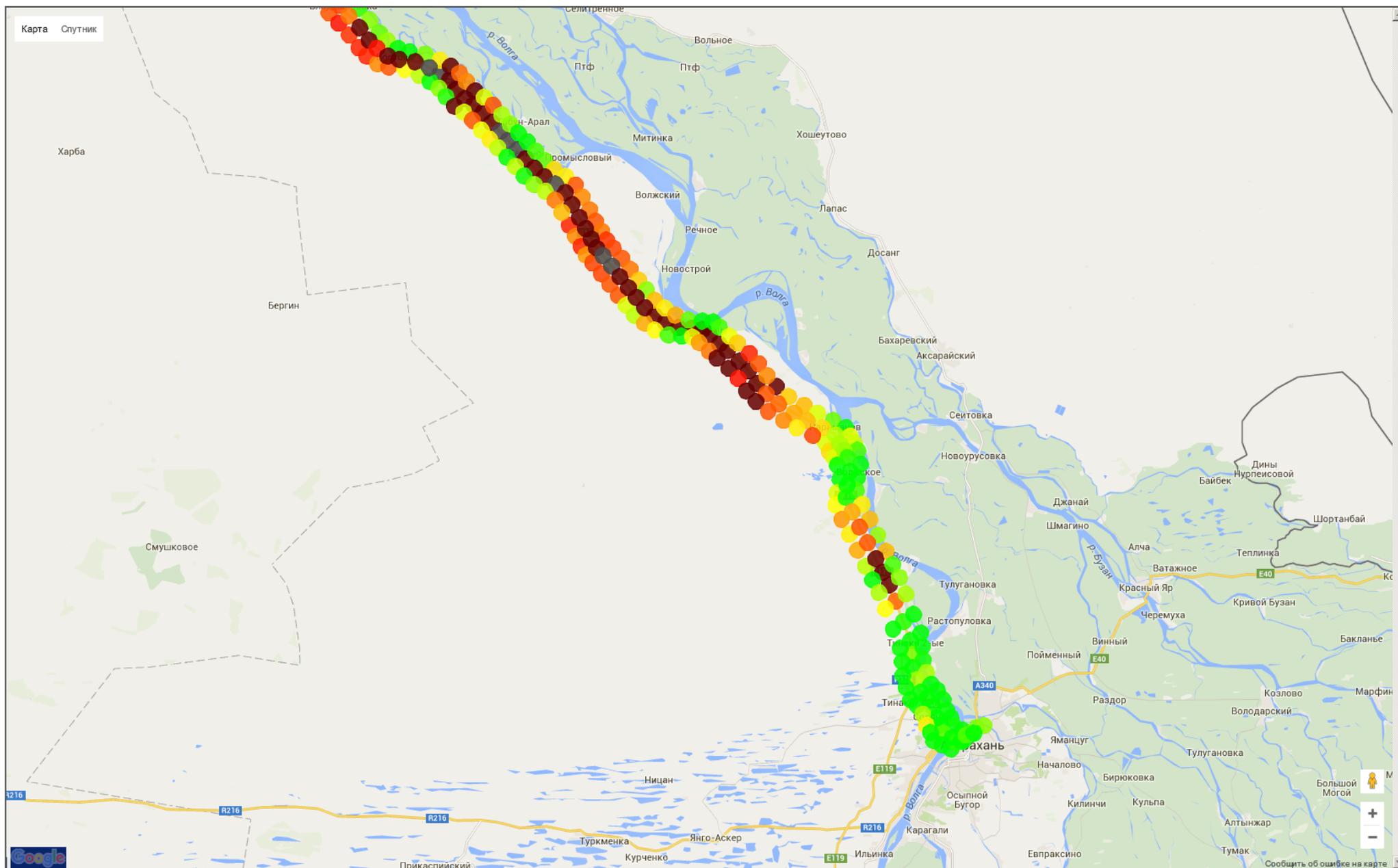


Рисунок 51 Режим 3G. Основные сотовые операторы. Фрагмент 11

Приложение 3. Схема подключения оборудования

